SERIE McGRAW-HILL DE DIVULGACION CIENTIFICA

EL TIEMPO IMPERFECTO

En busca del destino y significado del cosmos

Paul Halpern



EL TIEMPO IMPERFECTO

En busca del destino y significado del cosmos

PAUL HALPERN



Índice

El tiempo imperfecto

En busca del destino y significado del cosmos

Paul Halpern

Traducción:

MICHAEL HOWITT

Revisión técnica:

PILAR COUSIDO

McGraw-Hill

MADRID • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MEXICO • NUEVAYORK

PANAMA • SAN JUAN • SANTA FE DE BOGOTA • SANTIAGO • SAO PAULO

AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MILAN • MONTREAL • NUEVA DELHI

PARIS • SAN FRANCISCO • SIDNEY • SINGAPUR • ST. LOUIS • TOKIO • TORONTO

Serie McGraw-Hill de Divulgación científica

Consultores editoriales

Lorenzo Abellanas Rapún

Facultad de Físicas. Universidad Complutense

Madrid

Alberto Galindo Tixaire

Facultad de Físicas. Universidad Complutense

Madrid

José Luis Sebastián Franco

Facultad de Físicas. Universidad Complutense

Madrid

José Meseguer Ruiz

E.T.S. Ingenieros Aeronáuticos. Universidad Politécnica

Madrid

Adolfo Maldonado Zamora

E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica

Madrid

Manuel Toharia Cortés

Escritor y periodista científico

EL TIEMPO IMPERFECTO. En busca del destino y significado del cosmos.

Edificio Oasis-A, 1. planta

Basauri, s/n

28023 Aravaca (Madrid)

Traducido de la primera edición en inglés de

TIME JOURNEYS

ISBN: 0-07-025706-X

ISBN: 84-7615-811-4

Depósito legal: M. 7.179-1992

Cubierta: Juan García

Compuesto en: Monocomp, 5. A.

Impreso en: Edigrafos, S. A.

PRINTED IN SPAIN-IMPRESO EN ESPAÑA

Creado con Vellum

Acerca del Autor

El autor

PAUL HALPERN se doctoró en física teórica en la State University de Nueva York, en Story Brook, en mayo de 1987. Ha escrito numerosos artículos sobre el caos, la dinámica no lineal y la estructura del espacio y del tiempo para revistas tan prestigiosas como *The American Journal of Physics* y *Physical Re-view.* En 1987 fue invitado al Hamilton College, en Clinton, Nueva York, como profesor auxiliar visitante. Desempeña actualmente el cargo de profesor auxiliar de matemáticas y física en el Philadelphia College of Pharmacy and Science.

El libro

EL TIEMPO IMPERFECTO nos muestra los diferentes caminos que existen para llegar a tener una concepción de qué es y qué significa el tiempo en la vida de todo hombre.

De una forma accesible y fácil de comprender por el público en general se examinan los diferentes puntos de vista de filósofos, historiadores, teólogos, literatos o físicos, desde Aristóteles a Nietzsche, de los dioses griegos a Borges o de Einstein al mismísimo Stephen Hawking.

Se trata de un libro ameno e interesante que acerca al gran público un tema, «El tiempo», que parecía exclusivo de físicos y hombres de ciencia.

La serie

La SERIE McGRAW-HILL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA nace con el fin de acercar y hacer comprensible al gran público y a los interesados aquellos temas que por su carácter científico, técnico, cultural o social estaban restringidos a la comunidad científica y a expertos. Los libros que componen esta serie ofrecen la posibilidad de ampliar sus conocimientos y satisfacer sus inquietudes en dichas materias.

El objetivo de estos libros es poner a su alcance los avances y resultados que la ciencia y la tecnología han producido en la segunda mitad del siglo xx, influyendo en nuestra forma de vida y en la perspectiva del mundo que nos rodea.

Dedico este libro a mi abuela, Esther Halpern, con ocasión de su ochenta y cinco cumpleaños.

Prólogo

El tiempo nos afecta a todos y, sin embargo, nadie lo comprende de verdad. Al igual que el mítico Jano o el Señor hindú Brahma, el tiempo presenta muchas caras. Crea a la vez que destruye; nos brinda esperanza y nos inspira terror; ora cosechamos sus frutos, ora sufrimos los efectos de su carestía.

¿Cómo podemos describir el tiempo? ¿De qué forma definirlo? ¿Cabe abrigar la esperanza de apresar e interrogar alguna vez a este demonio omnipotente, aunque siempre escurridizo? O, al contrario, ¿estamos condenados a ver cómo se desliza entre las manos, controlándonos al tiempo que elude nuestro dominio? De ser así, nuestro destino sería seguir sirviendo de presa a algo que nunca podríamos esperar comprender.

¿Podemos concebir el tiempo sencillamente como un demonio malévolo que trae muerte y apuros, y que destroza todo lo que toca con sus manos frías e implacables? Quizá, al contrario, se parezca más a un duende benévolo que de una forma misteriosa nos dota de esperanza y fortuna. O bien puede ser que el tiempo sea un dios invidente que va dando palos de ciego con su guadaña mientras avanza tambaleándose, abatiendo tanto amigos como enemigos, sin merced ni malicia, sin orden ni concierto.

Demonios, duendes, dioses –todos ellos son «cosas»; representan lo tangible. A través de la Historia, la Humanidad ha procurado representar lo desconocido como algo real e imaginable. Por tanto, se ha concebido el tiempo como «creador», «conservador», o «destructor», e incluso, a veces, como una combinación de las tres cosas, según el concepto hindú de Brahma. La experiencia, no obstante, nos enseña que el tiempo no es una cosa: de una forma u otra, existe fuera del mundo de las cosas.

La esencia del tiempo reside precisamente en el hecho de que trasciende, al tiempo que define, el reino de lo mundano. Todo acontecimiento terrenal tiene que situarse necesariamente en un marco temporal; sin embargo, de forma paradójica, este marco existe sólo precisamente porque los acontecimientos ocurren. Sin el tiempo, el mundo no existiría, y sin el mundo, no existiría el tiempo. Así, cuando hablamos de perspectivas temporales distintas, nos referimos inevitablemente a diferentes maneras de interpretar la historia del mundo o de describir los sucesos de nuestra vida.

Incluso los acontecimientos más corrientes, cosas a las que no atribuimos ninguna importancia, revelan la complejidad de la estructura del tiempo. Estamos acostumbrados a considerar el tiempo de distintas maneras a la vez: guardamos en nuestra mente varias ideas contradictorias, y aplicamos la que corresponde a cada ocasión. Si analizamos esos pensamientos, sin embargo, los diversos criterios concretos saltan a la vista.

Consideremos, por ejemplo, la naturaleza de las vacaciones y de otras ocasiones festivas. Estas conmemoran simultáneamente la periodicidad del mundo y sus capacidades destructivas y creadoras. Los rituales que se realizan durante estas vacaciones y que se transmiten de generación en generación, subrayan el punto de vista de que el mundo se renueva año tras año. Por otra parte, estas ocasiones

sirven para tomar nota de los logros de cada año y para celebrar un aumento de prosperidad.

Por último, en tiempo de vacaciones, somos tristemente conscientes de que el tiempo pasa, de que todos estamos envejeciendo y de que se avecina la muerte. En cada ocasión festiva, se puede albergar estos tres puntos de vista sin que notemos ninguna contradicción. Examinemos la sutileza de este mecanismo con ayuda de un ejemplo concreto.

Imaginemos a un fotógrafo que saca fotografías en las fiestas de cumpleaños. Supóngase que vuelve año tras año para retratar a la misma familia con motivo de la celebración del cumpleaños de uno de sus hijos. Recopila cuidadosamente las fotos que corresponden a cada fiesta y las coloca en álbumes bien ordenados. Supóngase ahora que el fotógrafo estudia las fotografías que corresponden a dos años consecutivos. Lo que ve en las fotos constituye un historial visual del tiempo.

Según la forma en que mire las imágenes, se le pueden ocurrir varias maneras diferentes de interpretar los acontecimientos. Estos enfoques diferentes reflejan la complejidad del tiempo.

Por ejemplo, puede que se fije en la *homogeneidad* de las fotos. La serie de fotos que corresponde a un año puede contener imágenes de los mismos niños, los mismos muebles, el mismo tipo de tarta, y los mismos decorados que la serie del año siguiente. Podría resultar, por ejemplo, que todos los invitados que asisten a todas las fiestas fueran los mismos, y que las fotos representaran a grupos idénticos de personas y cosas en años distintos.

También es de suponer que no cambian de un año a otro ciertos rituales que se representan en las fotos. Puede que éstas incluyan varias imágenes de niños partiendo tartas, instantáneas múltiples de niños cantando, imágenes repetidas de juegos idénticos, y así sucesi-

vamente. Se representa de esta forma la naturaleza reiterativa y cíclica del tiempo.

Por otro lado, el fotógrafo puede observar el proceso de envejecimiento reflejado en sus fotos. Los recién nacidos que aparecen en la serie de fotografías de un año se convierten en los niños que empiezan a gatear en la serie del año siguiente. Los familiares mayores aparecen con más arrugas o más agotados conforme pasa el tiempo. Un examen detenido de las fotografías revela una multitud de cambios irreversibles en el aspecto de la familia. Dichos cambios indican una visión unidireccional del tiempo. Si se esparciera desordenadamente sobre una mesa una serie de fotos sin indicación alguna del año en que se sacaron, su orden temporal seguiría siendo claro. Existe un solo orden lógico e histórico de las fotos: es decir, un orden en que las «versiones» más jóvenes de las imágenes de los parientes preceden a las «versiones» claramente más viejas. Esto indica el concepto del tiempo como agente destructivo.

Consideremos, finalmente, un tercer punto de vista que puede adoptar el fotógrafo. Va aumentando su colección: cada año se le agregan fotografías nuevas. Por tanto, la profesión del fotógrafo representa un proceso creativo en el sentido de que, año tras año, se acumulan en el mundo nuevas imágenes, nuevos datos. La historia de la familia retratada una y otra vez crece continuamente en la medida en que está representada tanto en las fotos como en los recuerdos compartidos por sus miembros. De esta forma se puede ver que el paso del tiempo corresponde a una complejidad creciente que se deriva de la adquisición de conocimientos y experiencias. Bajo esta luz, se puede ver el tiempo como creador.

El ejemplo del fotógrafo revela tres maneras de considerar el tiempo: cíclico, destructivo y creador. Estos son tres «perfiles» distintos que asume el tiempo, y corresponden a otras tantas formas dife-

rentes de interpretar el mundo. Aunque esto pueda parecer ya una variedad importante, la realidad del tiempo es, sin embargo, mucho más compleja. Todavía quedan otras maneras de representar el tiempo.

Considérese, por ejemplo, las fotos que hace el fotógrafo de nuestra historia. ¿Reproducen éstas la realidad del instante en que se hicieron? ¿O representan sucesos de un período anterior, de un momento previo? En principio podría pensarse que los sucesos tuvieron lugar en el mismo momento del chasquido del obturador de la máquina. No obstante, puesto que la luz tarda un período de tiempo pequeño y finito en viajar desde los objetos hasta la lente, las imágenes captadas por la máquina representan en realidad unas imágenes de efecto retardado. De modo que la idea de la simultaneidad, de que se puede hablar de dos acontecimientos que ocurren al mismo tiempo, es más complicada de lo que inicialmente pudiera creerse. Debido a la cantidad de tiempo finito que los datos precisan para desplazarse, la idea de que dos acontecimientos ocurran simultáneamente tiene un componente subjetivo. Este hecho guarda relación con la naturaleza del tiempo.

Otra pregunta que se puede hacer sobre el tiempo alude a su «rapidez» aparente, que parece estar afectada por factores internos como el envejecer. Aquí se podría considerar, por ejemplo, el intervalo de tiempo que transcurre entre las fiestas de cumpleaños según la respectiva experiencia del fotógrafo y la de los niños. Un año para los niños, lleno de cientos y cientos de experiencias y sensaciones nuevas, podría parecer eterno; para el fotógrafo, el mismo año podría parecer corto y anodino. Conforme la gente se va haciendo mayor, los años, da la impresión, por lo general, de pasar cada vez más rápidos, porque parecen a cual más corto. Evidentemente, nuestra experiencia del tiempo tiene componentes psicológicos y biológicos

que afectan al sentido humano de la duración. Para comprender la naturaleza del tiempo, debemos descubrir de una forma u otra alguna relación entre las descripciones subjetivas y objetivas.

Otro tema referente al tiempo es el de su posible continuidad. A la luz de nuestra historia, nos preguntamos: ¿Sería posible que el fotógrafo registrara cada instante de algún suceso sin dejar ninguna laguna? Evidentemente no: por muy rápido que fuera el fotógrafo, tendrían que existir, entre chasquido y chasquido del obturador, unos instantes que no podría captar. Supóngase que pudiera, sin embargo, fotografiar cada momento sin excepción. ¿Constituiría una sucesión continua de imágenes, o seguirían existiendo lagunas? Esto se relaciona con una pregunta más amplia: ¿Es el tiempo una corriente uniforme, o está compuesto de «átomos», de momentos distintos separados por unos espacios imperceptibles? Dicho de otra forma, ¿se puede subdividir el tiempo una y otra vez sin interrupción, o tiene que llegar un momento en que se alcance la unidad más pequeña de tiempo? La historia del fotógrafo nos presenta así otro enigma más del tiempo? ¿Es continuo o es discreto? En este libro examinaremos las muchas facetas del tiempo y estudiaremos las contradicciones en que caen las distintas teorías enfrentadas entre sí. Puesto que el estudio del tiempo es verdaderamente interdisciplinario, contrastaremos los resultados de las investigaciones biológicas, geológicas, filosóficas, psicológicas, históricas y teológicas. Beberemos en fuentes tan diversas como la poesía de Milton, las sagradas escrituras de la Biblia, los apuntes clínicos del neurólogo Oliver Sacks, las novelas cortas de Borges y Wells, y los cuadernos de dibujo de Darwin. Puesto que este libro pretende centrarse en la relación que existe entre esas ideas y los temas contemporáneos de la física y la cosmología, subrayaremos sobre todo la forma en que los variados conceptos temporales de la física moderna reflejan las antiguas polémicas sobre el enig-

ma del tiempo. En fin, en las últimas páginas trataremos el tema de la relación entre la forma en que el individuo enfoca el tema del tiempo y su actitud ante el problema de la muerte.

Examinemos ahora la estructura básica del libro. En el primer capítulo se discutirá la idea del tiempo circular. Desde el concepto hindú de renacimiento cósmico hasta el modelo contemporáneo del universo oscilatorio, la idea de la periodicidad temporal tiene un fuerte atractivo. Buscaremos sus orígenes en los mitos de la fertilidad de las primeras civilizaciones agrícolas.

A continuación exploraremos la visión lineal del tiempo. Se estudiarán las ideas del cambio irreversible y del desarrollo histórico. Examinaremos dos actitudes ante el significado del tiempo lineal: la visión pesimista y la optimista. Buscaremos el origen de aquélla en las visiones apocalípticas de los primeros pensadores cristianos y el origen de ésta en los ideales progresistas del Renacimiento. Mostraremos cómo estas interpretaciones del tiempo hicieron su entrada en el mundo de la ciencia de la mano de los descubrimientos decimonónicos de las leyes de la entropía y de la evolución.

Después, en el capítulo cuarto, se presentarán las ideas de la causalidad y la sincronía. Estudiaremos la forma en que la Relatividad especial establece unos límites estrictos para la velocidad a la que pueden desplazarse los datos, y cómo la teoría cuántica puede permitirnos rebasar dichos límites. En el capítulo quinto examinaremos la cuestión del flujo del tiempo. Veremos primero cómo el tiempo psicológico difiere del tiempo del reloj; exploraremos luego el tema de los viajes a través del tiempo, es decir, la pregunta sobre si nuestra mente consciente puede o no viajar libremente hacia el futuro o el pasado.

Finalmente se discutirán los conceptos del tiempo atomístico y «multifurcado» *. Consideraremos la idea de que el tiempo se subdi-

vide constantemente en corrientes separadas, así como la de que el tiempo está compuesto de numerosas partículas. Cada una de estas visiones tiene sus partidarios entre los físicos modernos.

Compararemos en cada caso ciertos conceptos filosóficos y literarios con esquemas físicos contemporáneos. De esta forma mostraremos cómo los temas temporales de la física moderna tienen sus raíces en imágenes antiguas del universo. Es realmente extraordinaria la cantidad de paralelismos que se pueden encontrar entre la ciencia contemporánea y la filosofía consagrada.

Este libro no pretende ser un estudio exhaustivo de todas las manifestaciones del tiempo. Una exposición acabada de todo lo que se ha escrito sobre el tiempo tardaría varias vidas en recopilarse, y por lo menos una vida en leerse. Más bien, esta obra constituye un *examen* de las distintas formas de mirar el tiempo, cuya finalidad es buscar las similitudes que existen entre los enfoques de los diversos campos de investigación. Por tanto, es de esperar que el lector encuentre el tiempo de leer más sobre este tema, y que tenga presente, además, lo difícil que resulta.

Paul Halpern

* (N. del T.: Ramificado.)

Agradecimientos

Reconocimientos

Quisiera reconocer el apoyo generoso que han prestado al presente proyecto los profesores de Hamilton College y el Philadelphia College of Pharmacy and Science. Deseo agradecer especialmente a Mary y John de Forest, Peter Millet, Bernard Brunner, Alien Misher, Elisabeth Bressi-Stoppe, Doraiswamy Ratnasabapathi, Robert Cherry, Boris Bri-ker, William Yarnall y James Ring por su ayuda y sus ánimos. Desearía agradecer también a Max Dresden por haberme iniciado en las numerosas cuestiones interesantes de la cosmología y el caos, a Roger Penrose por su conferencia fascinante y sugestiva pronunciada en Syracuse University, y a Jennifer Mitchell por sus útiles consejos en materia de redacción.

Finalmente, quisiera reconocer el estímulo y el apoyo de mi familia y amigos, incluyendo a mis padres, Stanley y Bernice Halpern, a mis hermanos, Richard, Alan y Kenneth, y a mis buenos amigos Michael Erlich, Fred Schuepfer, Donald Busky, Robert Clark, Kris Olson, Simone Zelitch y Graham Collins, cada uno de los cuales ha hecho unas sugerencias muy útiles con respecto a esta obra.

El tiempo es el único misterio esencial.

Jorge Luis Borges

1

La vía circular

Historia del tiempo cíclico

Un niño abandona el seno de su madre. Aspira su primera bocanada de aire. A ésta le sigue otra y luego otra. Un pequeño corazón bombea sangre por minúsculas venas y arterias del niño. El corazón late y late repartiendo la sangre por todo el cuerpo, insuflando vida en cada una de sus partes. Se ha puesto ya en marcha el ritmo de la existencia. El tiempo ha empezado para el niño.

Al principio, el niño sucumbe al sueño a deshora y su comportamiento fisiológico parece insensible a su entorno. Poco a poco, sin embargo, la sucesión de los días y las noches le va marcando al niño una pauta regular. Llega el momento en que dormir de noche y despertarse cada mañana se convierte en parte integrante de su vida, de suerte que, aunque se le prive de la más mínima luz solar, el pequeño no deja de seguir un ciclo metabólico de 24 horas.

Todos los movimientos reiterativos asociados con la respiración, con los latidos del corazón y con las pautas diarias del sueño constituyen ejemplos de los ritmos cronométricos denominados «tiempo cíclico». El tiempo cíclico, o circular, es el ritmo periódico medido

por un reloj o un metrónomo. El tiempo del reloj difiere esencialmente del tiempo del calendario o del libro de historia. El tiempo cíclico excluye los conceptos de progreso o decadencia, porque sólo admite un presente un momento presente que no se distingue de ningún otro momento. Cualquier acción que se repite sin cambio una y otra vez marca la pauta del tiempo circular. Esta puede ser tan rápida como un latido del corazón, o prolongarse tanto como el movimiento del sistema solar, alrededor del centro de nuestra galaxia.

Evidentemente, muchos rasgos de este mundo son cíclicos. La tierra describe un giro completo cada 24 horas, provocando así una acusada diferencia de luz y de calor. El deshielo primaveral sigue cada año a las heladas de invierno. Las plantas se marchitan, para volver a florecer dentro de unos meses. Las mareas suben y bajan, arrastradas por la implacable atracción del sol y de la luna. Los pájaros viajan al sur, después al norte, y regresan de nuevo al sur, siguiendo el ritmo migratorio de las estaciones.

Además, los movimientos celestes afectan profundamente a la forma en que pensamos y sentimos así como a la estructura de nuestra vida. Todos sufrimos cambios diarios de metabolismo, aun cuando no estemos expuestos a modificaciones ambientales. Puesto que «sabemos» en los más íntimo cuándo debemos comer y dormir, nos resulta extraño si ese ritmo se trastorna.

El mecanismo corporal que establece esta pauta se llama sistema de regulación circadiano. El término «circadiano» proviene de las palabras latinas *circa*, «aproximadamente» y *dies*, «días». Los ritmos circadianos requieren unas 24 horas para cada ciclo y comprenden períodos de sueño, de vigilia, de digestión de los alimentos y de metabolismo energético. Si bien estas pautas obedecen a ritmo solar, suelen mantenerse incluso en ausencia de una exposición directa al sol.

Todo aquel que haya realizado un largo vuelo intercontinental es plenamente consciente de lo que ocurre cuando se ve repentinamente trastornado el ritmo circadiano natural. Desgraciadamente, el fenómeno del desfase horario resulta más que real para quienes recorren una distancia que suponga varios cambios de hora y sufren, en consecuencia, trastornos de sus relojes interiores. Tampoco se olvida fácilmente la experiencia de no poder conciliar el sueño por la noche cuando, según el reloj, uno debería estar durmiendo. En general, quienes se ven obligados a volar con frecuencia procuran seguir regímenes que les ayuden a adaptarse poco a poco a sus nuevos horarios. Tienen muy claro que no siempre pueden fiarse de su reloj circadiano.

Además de los procesos circadianos nos afecta una gama muy amplia de relojes biológicos, como es el caso, para las mujeres, del ciclo mensual de cambios bioquímicos. Nuestros ritmos vitales interiores están íntimamente relacionados, de muchas maneras, con el movimiento de nuestro planeta madre. No obstante, a diferencia de los movimientos claramente eternos del universo, nuestros propios mecanismos internos acaban perdiendo velocidad y, al final, dejan por completo de funcionar. La mortalidad del hombre contrasta abruptamente con el universo de relojería que nos rodea. Nacemos, crecemos, envejecemos, nos consumimos y morimos, y nunca se vuelve a saber de nosotros. El tiempo nos mastica y después nos escupe, dejando tan sólo un cadáver. Nos abalanzamos hacia un futuro incierto, a sabiendas de que nunca podemos volver a nuestro pasado. Nuestra vida se caracteriza por el cambio constante. Según escribió el poeta Catulo, «Los soles pueden ponerse y salir de nuevo. Una vez que se extinga la efímera luz, a nosotros nos queda dormir el sueño de una sola noche ininterrumpida.» Esta dualidad entre lo eterno del universo y lo pasajero de la vida humana ha sido uno de

los temas principales de la filosofía religiosa. Dado que la experiencia humana se ha centrado en el intento de atravesar la costra aparentemente frágil de la vida en busca de una realidad permanente y trascendental, se puede afirmar que la historia de la religión es una crónica de la lucha por comprender y superar la mortalidad, para fundirse con la verdad sempiterna del cosmos. Dicho de otra manera, la religión ha procurado conciliar la fragilidad de la vida con la permanencia de la verdad y la «realidad», término que suele equipararse con lo divino.

Esta búsqueda de lo omnipresente se ve reflejada de un modo muy claro en los mitos de la fertilidad de las primeras sociedades agrícolas. Los seres humanos primitivos cuya vida era breve, aunque ardua, buscaban en su entorno natural las verdades inmortales. Al darse cuenta de que frente a la vida limitada de hombres y animales la de las plantas era perenne, empezaron a indagar los misterios ocultos en la agricultura. Sospechando que las plantas gozaban de algún tipo de inmortalidad, elaboraron pócimas medicinales a base de frutas y hierbas con el fin de hacerse ellos mismos con ese don, para poder así vivir una y otra vez bajo formas vitales renovadas. Como creían que el ritmo vegetal poseía la clave del secreto del nacimiento, la muerte y el renacimiento, dieron en pensar que las frutas y las hierbas proporcionaban la vida eterna, y el conocimiento de la realidad fundamental.

Otros fenómenos naturales sujetos a la experiencia del renacer desempeñaron también un papel importante en los mitos primitivos. Se percibía que el sol moría cada noche para renacer a la mañana siguiente. Se pensaba que ello estaba, igualmente, relacionado con las escurridizas metas de la inmortalidad y la conciencia cósmica. Lo mismo ocurría con el movimiento de la luna y las estrellas: se consideraba a menudo que aquellos cuerpos celestes eran seres afortuna-

dos que poseían el conocimiento secreto de cómo escapar a la muerte.

Dado que los ciclos celestes y agrícolas jugaban tan básico papel en las ideas religiosas de la civilización primordial, se consideraba que el tiempo solar y lunar, al igual que el de las flores y los cereales era un tiempo sagrado. Todos los procesos naturales rítmicos, en particular los que se creían relacionados con el movimiento de los cielos, se incluían en este culto al eterno círculo.

Puesto que el retorno de las estaciones se juzgaba un antídoto al declive humano, se creía que las mujeres, en tanto que portadoras de vida, tenían conocimiento de ese tónico. Se estimaba que el ciclo menstrual de las mujeres constituía un eslabón entre los ritmos lunares divinos y los procesos terrenales asociados a la fertilidad. De esta forma, se creía que la fertilidad femenina estaba relacionada con el misterio de la vegetación y con los movimientos celestes que marcan la pauta del tiempo cíclico.

Habida cuenta de este profundo interés por la periodicidad de la vida agrícola, no es de extrañar que la época de la cosecha tuviera un papel tan importante en las culturas neolíticas. La fiesta del año nuevo, que coincidía con la recogida, entrañaba el concepto del renacimiento y de la renovación periódica del mundo e incluso, en algunas sociedades, el mito del retorno de los muertos. Muchas de estas tradiciones se conservan hoy en algunas culturas, si bien se distorsiona a menudo su significado original. Es interesante ver, por ejemplo, cómo el año nuevo judío sigue observándose durante la temporada de la cosecha, que tiene lugar sólo unas semanas antes del Succoth y la fiesta de la recogida.

Igualmente importante era el papel de la periodicidad en otras tradiciones religiosas primitivas. En el antiguo pensamiento hindú (védico), los sacrificios anuales y las ofrendas diarias de fuego esta-

ban estrechamente vinculados a la continuidad del mundo. Los brahmanes creían que la inmortalidad del universo sólo se podía mantener con los rituales sacerdotales ante el altar del fuego[1]. Como señala el destacado estudioso de las religiones, Mircea Eliade, se pensaba que «ni siquiera el sol saldría si el sacerdote no ofrendaba al amanecer, la oblación del fuego». De esta manera, una forma de vida reiterativa y ritualista se iba relacionando con la regularidad cósmica, la cual, a su vez, se asociaba con la inmortalidad y la verdad perfecta. Eliade denomina a este concepto «tiempo sagrado».

Según Eliade, el tiempo sagrado es cíclico y, por tanto, carece totalmente de dirección temporal, a diferencia del tiempo de sentido único caracterizado por la vida mortal ordinaria. Al realizar actos reiterativos, los primeros seres humanos podían identificarse con la atemporalidad del reino sagrado. Eliade lo expresa de la siguiente forma[2]:

«*Por su misma naturaleza el tiempo sagrado es reversible en el sentido de que, propiamente dicho, es un tiempo mítico primordial y actualizado. Cada fiesta religiosa, cualquier ocasión litúrgica, representan la re-actualización de un acontecimiento sagrado que tuvo lugar en un pasado mítico, "en el principio". La fiesta religiosa implica salir de la duración normal del tiempo y reintegrarse en el tiempo mítico que la misma fiesta vuelve a actualizar. Por tanto, el tiempo sagrado se puede recuperar y repetir de forma indefinida. Desde cierto punto de vista se podría decir que no "pasa", que no constituye una duración irreversible.*»

En otras palabras, sólo mediante la realización de actos rituales podrían liberarse los devotos de la esfera mortal, e imaginarse que pertenecían al reino inmortal de la sagrada verdad. Puesto que estas ceremonias suponían un vínculo, no sólo con el remoto pasado humano sino también con una prehistoria que se creía sagrada y atemporal, se las consideraba formas de trascender a la propia muerte: el

tiempo circular, sagrado y reversible, podía suplantar al tiempo lineal, profano e irreversible.

Con el desarrollo de la filosofía hindú este interés por los ritmos diarios y estacionales llegó a incorporarse al concepto de la rueda de samsara: la periodicidad del ser natural. En esta tradición hindú todas las cosas nacen, viven, mueren y renacen. Se considera que una vida humana constituye una parte inconmensurablemente pequeña de una interminable cadena de reencarnación.

Se pensaban también circulares la historia humana y los esquemas cambiantes del cosmos. Sólo media un pequeño paso entre la creencia en lo sagrado de la muerte de las estaciones y el renacer de la naturaleza y la creencia en el renacer humano y finalmente en el renacer social. Según los textos hindúes, el universo se destruye y se vuelve a crear cada 4.320.000.000 años, período llamado *kalpa* (ciclo del universo). Así, según esta interpretación, toda la historia humana no representa más que una parte exigua e insignificante de la eternidad cíclica.

Estas creencias las comparten otros pueblos antiguos que se asentaron en el subcontinente indio. En la filosofía de los jaínes, una cultura no hindú de la India, se representa el ciclo del mundo como una serpiente (sarpin) que devora su propia cola. Para los jaínes, como para los hindúes, este incesante flujo circular del cosmos sigue eternamente. Ello contrasta con la visión budista del mundo, que considera continuo el ciclo de la creación y destrucción. El budismo es una religión basada en lo sagrado de la contemplación. Meditando, uno se da cuenta de que sus pensamientos cambian constantemente, lo cual a su vez le conduce a contemplar la inestabilidad de todas las cosas. Para el budista la continuidad de la vida humana es una ilusión, y el yo una sucesión de ideas y experiencias. Se puede conse-

guir la paz interior sólo si se rechaza lo ilusorio de la continuidad y se acepta el incesante ritmo del cambio.

La estructura de la meditación budista refleja claramente ese punto de vista. Durante la práctica de la meditación, lo habitual es concentrarse en el flujo de la propia respiración y sentir su naturaleza incesante y rítmica. Los pensamientos que puedan surgir en el transcurso de la meditación se consideran desviaciones de un proceso cíclico eterno. La respiración establece una nueva percepción de la continua destrucción y creación del mundo natural.

Hay otras formas de practicar la meditación en las que la repetición de una palabra denominada *mantra* consigue el mismo fin. Al salmodiar (o al pensar) una y otra vez un sonido carente de todo sentido, se espera la liberación de la ilusoria cadena del pensamiento convencional (que conduce inexorablemente a la muerte) el acceso al reino de la repetición infinita (que conduce a la vida eterna).

Esta esperanza se refleja en la función simbólica del *mantra* sánscrito «*om*», que se forma mediante la combinación de un sonido abierto «oh» y un sonido cerrado «mmm». Al abrir la boca para pronunciar «oh», se crea (o engendra) un sonido; al cerrarla para pronunciar «mmm», se destruye el sonido. De tal modo, la repetición de este *mantra* representa el acto de creación y destrucción continua.

Al adherirse a semejante creencia en lo sagrado de la repetición, el budismo, el hinduismo y el jainismo compartían una creencia similar en el tiempo cíclico. El caso es que, dados sus estrechos vínculos con la naturaleza y la inmortalidad, el tiempo cíclico ejercía una fuerte atracción para casi todas las civilizaciones del mundo antiguo; representaba la esperanza común a aquellos pueblos de unir su destino a la eternidad. Incluso en la antigua Grecia, donde existían muchas teorías divergentes y hasta contrapuestas sobre la progresión

temporal, el concepto del tiempo periódico despertaba un gran interés.

Las primeras muestras de la filosofía griega se remontan al siglo-VII a, de C, época en que la civilización griega se extendía, más allá de la península helena, por las islas del Egeo, Asia Menor y el sur de Italia. Los griegos estaban extremadamente interesados en los ritmos de la naturaleza y en la relación entre los reinos de lo natural y lo humano, Gran parte de la cosmología griega primitiva provenía de una equiparación entre el desarrollo biológico humano y la evolución del universo. Del mismo modo que se reproduce la vida humana, los acontecimientos del universo se veían como eslabones en una eterna cadena de procreación generacional.

Poco se sabe de la vida de Heráclito de Efeso, uno de los primeros filósofos griegos. Heráclito vivió en torno al 500 a. de C, durante la época de la conquista persa de Asia Menor. Como griego, habitante de una ciudad conquistada por los persas, sobre él gravitaban tanto los mitos griegos como las tradiciones zoroástricas. Adoptando la idea zoroástrica de que el universo es una lucha entre dos fuerzas (el bien y el mal), Heráclito postuló que aquél se encuentra en un estado de conflicto constante entre principios antagónicos. El mundo cambia sin cesar y, sin embargo, tiene a la larga que volver al estado original. Heráclito creía que, a pesar del caos continuo, existe un orden cíclico en todas las cosas. La razón estribaba, a su parecer, en que las cosas tienden hacia sus extremos opuestos. Cuando se llega a lo contrario de lo contrario, los acontecimientos se repiten. En palabras de Heráclito [3]: «Las cosas frías se calientan, las calientes se enfrían, lo mojado se seca, lo reseco se humedece», pero «el camino hacia arriba y el camino hacia abajo son exactamente el mismo.» De este modo, según Heráclito, todo tiene que volver de forma reiterativa a su estado original.

Unos 50 años después de Heráclito apareció en escena el filósofo siciliano Empédocles. Como Heráclito, Empédocles creía en un tiempo cíclico impulsado por extremos opuestos. Para Empédocles estos extremos eran el amor y el conflicto. El amor une los elementos separados; el conflicto divide los cuerpos unidos. Según la cosmología de Empédocles, la tierra pasa por diversas épocas en las que predomina uno u otro de estos principios. Al producirse una suerte de metamorfosis aparece la raza humana, fruto de una serie de pasos evolutivos en los que ciertas especies de seres humanos y animales a medio formar se separan y vuelven a combinarse. Estos monstruos intermedios se forman por combinaciones insuficientes de amor y conflicto. Al final, en la época actual, surge la humanidad tal y como la conocemos. Sin embargo, no es previsible que el período actual dure para siempre, ya que la evolución mencionada se considera eterna, y seguirán nuevas etapas a medida que el proceso continúe. Por tanto, según Empédocles, el mundo no tiene ni principio ni fin; por consiguiente, el tiempo es circular.

Los filósofos griegos post-socráticos mantenían la tradición de ver en el tiempo un proceso cíclico. En su *Timeo,* Platón relaciona el tiempo con la sucesión de acontecimientos naturales y, sobre todo, con el movimiento de los planetas. Él creía que la tierra y los cielos no eran más que reflejos imperfectos del orden divino: el movimiento de los planetas es lo que más se aproxima a una imagen de ese reflejo. Para Platón, el tiempo era inseparable de ese movimiento periódico. La progresión temporal, tal como la expresan las órbitas de los planetas, es, según sus propias palabras, «la imagen en movimiento de la eternidad»[4]. Por eso él creía en un universo que se repetía y en el que se renueva periódicamente el mundo. Una vez más vemos cómo en los albores del mundo civilizado se equiparaba el tiempo circular con lo divino.

El poder destructivo del agua desempeñaba un papel importante en la creencia de Platón en la repetición. En los tiempos de Platón, era corriente creer que los diluvios destruían periódicamente la tierra. Platón, en *Timeo,* citó crónicas que hablaban de la destrucción parcial del mundo por un diluvio. Platón, y más tarde Aristóteles, sostenía que esto constituía una prueba de la devastación periódica del mundo[5].

A diferencia de Platón, para quien la naturaleza era tan sólo un reflejo de la verdad eterna, Aristóteles creía en la realidad física del reino natural. Su visión del tiempo, no obstante, se parece mucho a la de Platón. El tiempo, para Aristóteles, es una medida del cambio. Puesto que cada cambio requiere una causa, y este acto causal requiere otra causa, el tiempo no puede tener ni principio ni fin. En vista de que un círculo es un objeto sin puntos extremos, Aristóteles sostuvo que el tiempo debía de estar relacionado con el movimiento circular. Ya que sólo los planetas y las estrellas describen círculos perfectos en su movimiento, él creía que cuantificaban el tiempo. Aristóteles, calificaba el cambio de «generación y desintegración» y escribió que «la continuidad y la eternidad de la generación y de la desintegración imitan el movimiento circular continuo de los cuerpos celestes eternos.»[6] Los poderosos argumentos de Aristóteles sirvieron como definición de la realidad del tiempo durante centenares de años.

La cultura griega reflejaba esas interpretaciones del tiempo. Puesto que el tiempo es cíclico y perfecto, se razonaba que un sistema político debería ser lo más invariable posible y que no debería haber ninguna

necesidad de progreso histórico ni de crecimiento revolucionario. Por tanto, la mayoría de los filósofos griegos, incluso los destacados

como Pitágoras y Heráclito, abogaban por un concepto cíclico de la historia humana.

Las odiseas griegas, que aparecieron varios siglos después de los tiempos de Platón y Aristóteles, manifestaban también una preocupación por lo eterno. El teórico literario Bakhtin señala lo siguiente:

«Toda la acción de una odisea griega, todos los acontecimientos y las aventuras que la llenan, constituyen espacios temporales que no son ni históricos ni biográficos, ni siquiera biológicos ni llegan a la maduración... En este tipo de tiempo, no cambia nada: el mundo permanece tal como estaba, la vida biográfica de los protagonistas no cambia, sus sentimientos no cambian, la gente ni envejece siquiera. Este tiempo vacío no deja huellas por ninguna parte, ni indicios algunos de que haya pasado.»[7]

Dicho de otra forma, los héroes de las odiseas griegas se parecían mucho a los superhéroes de los tebeos actuales. De la misma manera que se quedarían atónitos los aficionados a los tebeos contemporáneos ni Superman cambiara radicalmente de aspecto, si envejeciera o muriera, también el público griego esperaba que sus héroes novelescos nunca cambiaran. Les encantaba pensar que estos héroes pertenecían a un mundo imaginario y eterno, libre de la tiranía del reloj. De este modo, las odiseas griegas continuaban la tradición clásica según la cual el reino sagrado existe fuera de las limitaciones del tiempo lineal corriente.

Eterno retorno

A través de la historia, el concepto del tiempo circular ha atraído irresistiblemente, a la vez que ha asustado, a filósofos, teólogos, escritores y científicos. A diversos filósofos y escritores de los siglos XIX y XX les ha parecido de sumo interés la idea de la eterna repetición. Uno de los partidarios más destacados del tiempo circular fue

el filósofo alemán Friedrich Nietzsche. Nietzsche, que llevó una existencia perturbada, se quedó horrorizado un día ante la idea de que pudiera verse obligado a atravesar sus desgracias una y otra vez. Puesto que el tiempo es infinito mientras que el mundo es finito, le parecía que todos los acontecimientos del mundo debían de repetirse infinitas veces. Pasó gran parte de su vida intentando asimilar esa repentina percepción.

Denominando a su idea *eterno retorno,* Nietzsche se creía el inventor del concepto, a pesar de la larga historia de su desarrollo. No obstante, quedaba claro para sus coetáneos que Nietzsche se inspiraba profundamente en las tradiciones hindúes y griegas del tiempo cíclico. Sobre todo, el eterno retorno recuerda la creencia de Heráclito en la destrucción del mundo que se repetía periódicamente, surgida de la conflagración universal que lo consumía todo[8].

De una forma parecida, creía Nietzsche que la historia está compuesta por una sucesión de épocas constructivas y destructivas. Durante las épocas constructivas, los mayores logros de la humanidad se manifiestan porque surgen las personas que tienen las «*ansias de poder*» más intensas para construir una civilización cada vez más compleja. Después de que la era de la construcción alcance un punto culminante, las fuerzas destructivas derriban lo creado y el ciclo vuelve a comenzar.

Nietzsche pensaba que lo frágil de todas las más grandes creaciones humanas dictaba su desmoronamiento final. Esta es la razón, tal como discurría el autor, por la cual las así llamadas eras de construcción son provisionales. Sin embargo, concedía que, a pesar de su inestabilidad, los logros conseguidos durante esas épocas productivas son a la vez reales e importantes.

La física newtoniana proporcionó a Nietzsche una justificación para sus ideas sobre le eterna repetición; a saber, el concepto de que

la energía no puede crearse ni destruirse. Nietzsche creía que «la ley de la conservación de energía exige la eterna repetición» porque la energía universal debe de reciclarse continuamente. Así que, como señalaría Nietzsche, no hay nada nuevo bajo el sol. Todo lo que existe en el mundo ha estado aquí antes bajo una u otra forma.

Nietzsche presentó otra razón a favor de un mundo cíclico según la cual creía que había sólo una cantidad finita de sucesos posibles en el universo. Si el universo estaba compuesto por una cantidad finita de partículas, dedujo que el conjunto de dichas partículas acabaría agotando todas las posibles posiciones e interacciones. Las partículas tendrían necesariamente que reproducir infinitas veces su comportamiento anterior, al igual que un péndulo reproduce constantemente el mismo movimiento. Esto lo expresó Nietzsche en su libro *Ansias de poder.*

«*Si se puede concebir el mundo en términos de una cierta cantidad de fuerza y una cierta cantidad de centros de fuerza... de ello se deriva que debe de pasar por una cantidad calculable de combinaciones. En el tiempo infinito, se realizaría en un momento u otro cada una de las combinaciones posibles, es más, se realizaría infinitas veces... Un movimiento circular de series absolutamente idénticas queda así demostrado: el mundo en tanto que movimiento circular que ya se ha repetido infinitas veces y juega su partida* ad infinitum.»[9]

Así que a Nietzsche se le antojaba el mundo como un tipo de partida de ajedrez. A pesar de que existen en el ajedrez millones de ¡ligadas y situaciones posibles, más de las que podría ver un jugador en el transcurso de su vida, las permutaciones son finitas y limitadas. Si se jugaran trillones y trillones de partidas, llegaría un momento en que ellas se repetirían una y otra vez. Por ejemplo, la millonésima partida podría ser una perfecta réplica de la quinta. Parece ser, luego,

que el tiempo es cíclico porque se duplicarían periódicamente los sucesos de la partida de ajedrez.

Este panorama resultaba algo angustioso para Nietzsche, que se Imaginaba que volvería a vivir su vida infinitas veces, junto con todo el dolor que la caracterizaba. Le inquietó enormemente esta perspectiva hasta que cayó en la cuenta de que el eterno retorno confería una clase de inmortalidad. Al vivir repetidas veces, uno se asegura un lugar permanente en el universo, lugar que le sería denegado en el caso de vivir una sola vida. Llegado a este punto, Nietzsche estudia la inquietud que conlleva la idea del eterno retorno y medita su solución:

«*¿Qué pasaría si, un día o una noche, un demonio te siguiera con sigilo hasta penetrar en tu más íntima soledad y te dijera: "Esta vida, tal como la vives ahora y la has vivido hasta este momento, la tendrías que vivir una vez más, innumerables veces más; y no habrá nada nuevo en ella, sino que cada dolor, cada alegría, cada pensamiento, cada suspiro, y todo lo indeciblemente pequeño o grande de tu vida tendrán que sucederte de nuevo...?*[10]

¿No te lanzarías contra el suelo rechinando los dientes y maldiciendo al demonio que así habló?... O ¿qué buena disposición tendrías que adquirir hacia ti mismo y ante la vida para no anhelar nada más fervientemente que esta confirmación y sello definitivos de la eternidad?»

A dos autores del siglo xx, el escritor argentino Jorge Luis Borges y el novelista checo Milan Kundera, les ha fascinado la idea de la eterna repetición y han basado algunos de sus escritos en las obras de Nietzsche. Tanto Borges como Kundera encuentran que la idea de que el tiempo se repite conduce a problemas espinosos en cuanto a la condición humana.

En la novela de Kundera titulada *La insoportable levedad del ser,* se insinúa que el principio del eterno retorno supone una responsabilidad insoportable. «Si se repite infinitas veces cada segundo de nues-

tra vida, estamos clavados a la eternidad de la misma manera en que Jesucristo estaba clavado a la cruz», escribe Kundera[11]. En cambio, de no ser por la eterna repetición, nuestra vida sería etérea porque ocurriría una sola vez. En ese caso, viviríamos la vida a sabiendas de que nuestros actos estaban condenados al olvido. Ambas alternativas inspiran a Kundera una sensación de horror.

Puesto que todas las obras de arte estarían predestinadas, Borges, por otra parte, argumenta que el tiempo cíclico implica que la creatividad humana carece de todo sentido. Dada una cantidad de tiempo infinita, ocurrirá ineludiblemente todo lo posible, incluso la realización de grandes y «originales» novelas. Se insinúa este tema en varios cuentos cortos suyos. Escribe en *El inmortal:* «Homero compuso *La Odisea;* si postulamos un tiempo infinito, junto con infinitas circunstancias y cambios, lo imposible es no componer *La Odisea* una vez al menos.»12 Así que cada obra de creación no es más que una coincidencia, afortunada y significativa, producida por pura casualidad.

En el cuento corto *Pierre Menard, Autor del Quijote,* Borges se imagina que un autor reproduce palabra por palabra la obra de Cervantes, *Don Quijote.* Menard consigue componer *Don Quijote* gracias a su propia creatividad y no sólo transcribir la novela. Una vez más, Borges subraya el hecho de que la creatividad es un concepto sin sentido alguno a la luz de la repetición de la historia.

Así que se puede representar el tiempo circular como una serie de espejos deformantes de feria que reflejan nuestra imagen de acá para allá infinitas veces. Al mirarnos en estos espejos, vemos como nuestras múltiples imágenes se extienden hasta formar un panorama sin límites de nuestros reflejos. De este modo, cada uno de nuestros gestos, al reflejarse en este mundo de espejos, parece reproducirse una y otra vez hasta el infinito. Por esa razón, los espejos de feria

producen tanta angustia y confusión y, también, por supuesto, tanta risa.

Podemos imaginarnos a Nietzsche entrando en la sala de espejos de semejante feria. Al principio se quedaría aterrorizado al ver su mirada inquieta reflejada tantísimas veces en torno suyo. La expresión de angustia en el rostro de sus espectros sería una burla de su propio dolor y desgracia. Sin embargo, al final Nietzsche se erguiría, digno, ante su público. Volviéndose, saludaría a todos sus compañeros de lucha al darse cuenta de que el poder reside en las cantidades. Al unísono, Nietzsche y sus reflejos encontrarían un sentido en sus gestos mutuos y sincrónicos; el hecho de que pareciesen llenar todo el espacio les dotaría de una profunda importancia.

Kundera, en cambio, adoptaría otra actitud al encontrarse en una sala de espejos de esta índole. En seguida sentiría violada su intimidad, puesto que todo lo que hiciera aparecería ante sus ojos infinitas veces. En una sala normal podría permitirse el lujo de hacer tonterías y cometer pecadillos inofensivos sin sentir remordimientos. Sin embargo, en la sala de espejos, las superficies cristalinas multiplicarían todos sus actos, con el resultado de que serían el centro de atención para los millares de miradas intrigadas. Así se perdería la reconfortante soledad de sus actos al encontrarse rodeado de las imágenes caleidoscópicas.

Por último, Borges, al entrar en la sala, sufriría una aguda crisis de identidad. Al principio, se preguntaría si él era el auténtico Borges o si podrían ser igualmente auténticos los reflejos. Después, pluma en ristre, empezaría a apuntar sus pensamientos sobre su desconcertante situación. Al encontrarse con que cada una de sus imágenes también empezaba a apuntar sus pensamientos, llegaría a la conclusión de que incluso el proceso creativo carece de todo sentido si se repite hasta el infinito. Al final, una de las imágenes de Borges se le-

vantaría, daría la vuelta y se marcharía, sintiéndose bastante perpleja a causa de estos sucesos.

Si sustituyéramos la repetición espacial por la repetición temporal, comprenderíamos por qué estos tres escritores influyentes –Borges, Kundera y Nietzsche– encontraban tan preocupante la posibilidad del eterno retorno. Queda claro, pues, que cada uno de ellos se tomaba bastante en serio la idea, creyendo que podría existir cierta posibilidad de que los sucesos del universo ocurriesen repetidamente. Esto refleja el hecho de que el concepto del tiempo circular ha ejercido una profunda influencia en nuestra forma de pensar.

Esta influencia se deriva de varios factores. En primer lugar, y como ya hemos visto, el tiempo cíclico está relacionado con los relojes naturales y movimientos celestes. Todos éstos nos siguen asombrando por su regularidad. En segundo lugar, todos hemos sentido la influencia de nuestros antepasados, muchos de los cuales creían que se repite la historia cósmica y humana. Por último, para los hombres de los siglos XIX y XX, debemos contar con la influencia ejercida por las obras científicas, sobre todo las de Sir Isaac Newton y el Profesor Albert Einstein, que se tienen en gran estima. Ambos físicos sostuvieron que se pueden explicar los movimientos del universo con leyes sencillas, reversibles e invariables, y que, por tanto, el comportamiento del universo debe ser reiterativo y previsible.

El tiempo y la física clásica

Habida cuenta de la influencia de los conceptos temporales expresados en la cultura griega, de la preeminencia de las teorías cosmológicas de Aristóteles, así como de la elegancia y sencillez de los conceptos primitivos del tiempo cíclico en los que aquéllas se basaban, no es de extrañar que los que formularon las leyes de la mecánica clási-

ca, incluso Isaac Newton, dibujaran un retrato de relojería del universo. Se consideraba que las ecuaciones ideales del movimiento eran independientes del tiempo, exhibiendo una reversibilidad temporal. Es decir, el universo debería guardar el mismo aspecto independientemente si se le mirase hacia adelante o hacia atrás en el tiempo, al igual que el tic-tac de un reloj grabado en un magnetófono tendría el mismo sonido cuando se escuchara hacia adelante, o hacia atrás. Todas las leyes que rigiesen el universo exhibirían este rasgo.

Esto no quiere decir que la obra de Newton, padre de la mecánica clásica, fuese tan sólo una extensión de los conceptos aristotélicos. Las ideas de Newton sobre el tiempo cambiaron enormemente las consideraciones futuras sobre las propiedades del mismo. Él postuló la existencia de un tiempo absoluto independiente del movimiento de cualquier cuerpo celeste. Newton separó este concepto del tiempo de la idea del tiempo común de la procesión estelar aparente y del tiempo mundano de un reloj corriente. Según Newton, el tiempo absoluto es un baremo invariable con el que se pueden medir todas las actividades del universo.

Al desvincular el tiempo del movimiento celeste, Newton desmitificó el comportamiento de los cuerpos celestes. En lugar de considerar que dicho comportamiento era evidente por su sencillez, Newton se preguntó sobre sus mecanismos subyacentes. Al hacerlo, descubrió unas relaciones matemáticas sencillas que como consecuencia directa dan lugar, con elegancia, a los movimientos cíclicos de los planetas. Estas famosas relaciones se conocen como las leyes del movimiento de Newton y la ley de la gravitación universal de Newton. Las leyes del movimiento de Newton son las siguientes:

1. Un cuerpo seguirá en su estado de reposo o se mantendrá moviéndose en una línea recta con la misma velocidad

siempre que sobre él no actúe ninguna fuerza.

2. Un cuerpo se acelerará, o cambiará su velocidad a un ritmo proporcional a la fuerza y en el mismo sentido de la fuerza.

3. Para cada acción existe una reacción igual y contraria, a las acciones mutuas de dos cuerpos; son siempre iguales y en sentido contrario.

La ley de la gravitación de Newton afirma que los cuerpos ejercen una fuerza gravitatoria mutua inversa al cuadrado de la distancia entre ellos. Junto con las leyes del movimiento, esto implica que los planetas deben de describir órbitas elípticas alrededor del sol y que la luna debe de girar en torno a la tierra. De modo que, si bien el tiempo cíclico no fue una hipótesis de Newton, una consecuencia es el movimiento cíclico: las fuerzas centrales de atracción como la gravedad, garantizan un comportamiento reiterativo de los cuerpos celestes.

Las leyes de Newton manifiestan una reversibilidad temporal completa. Para comprender por qué es así, imaginemos el movimiento de una bola en una mesa de billar. Si uno golpea la bola de tal forma que rebote en una almohadilla, se moverá en cierto sentido y a cierta velocidad. Si luego se pudiera invertir el sentido de la bola a la misma velocidad, trazaría precisamente el mismo camino hacia atrás, hasta volver a su punto de partida. Todas las fuerzas actuando sobre la bola serían las mismas. No se podría distinguir el movimiento hacia atrás del movimiento original, porque parecería que la bola repitiera su movimiento hacia atrás en el tiempo. Su movimiento es geométrico y, por tanto, temporalmente simétrico.

Calcular el movimiento de un péndulo, sin rozamiento alguno, es un problema conocido en la mecánica clásica newtoniana. Si se pone

en marcha un péndulo a un ángulo determinado del vertical, se pueden calcular su velocidad y posición para cualquier momento futuro. En este caso ideal, queda totalmente determinado el movimiento; es decir, conociendo el presente, se puede conocer perfectamente el futuro. Un principio que traza el camino seguido por el péndulo es el de la conservación de la energía, consecuencia directa de las leyes del movimiento de Newton. Se consigue demostrar que la energía no se puede crear ni destruir; sólo se puede transformar de una clase a otra. En nuestro caso, los dos tipos de energía son la del movimiento y la de la posición del péndulo. Esto asegura que el péndulo repite una y otra vez el mismo comportamiento, ya que en caso contrario se ganaría o se perdería energía.

Se puede representar esto como un reloj de arena en el que la parte superior se etiqueta «energía de posición», y la parte inferior, «energía de movimiento». La parte superior del reloj se llena de arena (energía de posición), lo cual corresponde al hecho de que el péndulo se sostiene a un ángulo determinado del vertical. La parte inferior del reloj empieza vacía, porque no se mueve el péndulo y no hay ninguna energía de movimiento. Cuando el péndulo comienza a oscilar, su energía de posición se transforma en energía de movimiento. La arena del reloj corre desde la parte superior hacia la parte inferior, hasta que aquélla quede vacía y ésta llena. Ahora, toda la energía del péndulo es de movimiento porque se encuentra en su posición más baja y se mueve a su mayor velocidad.

Al oscilar el péndulo hacia el otro lado, pierde velocidad. Su energía de movimiento vuelve a convertirse en energía de posición conforme va subiendo. De forma parecida, se puede dar la vuelta al reloj de arena, provocando así que la arena en la parte de energía de movimiento vuelva a correr hacia la parte de energía de posición. Al igual que la arena del reloj puede deslizarse de una parte a la otra, el

péndulo puede seguir oscilando, transformando constantemente su energía de una forma a otra. De este modo, la conservación de la energía garantiza la periodicidad temporal.

Existe una relación clara entre la regularidad del tiempo y la del espacio en el esquema de Newton. El espacio newtoniano tiene un carácter uniforme. El espacio está poblado de estrellas, planetas y otros cuerpos distribuidos con bastante uniformidad. Así que no se puede distinguir una zona del espacio de otra. Puesto que se conserva la energía, esos cuerpos celestes muestran un movimiento periódico. Luego, el tiempo newtoniano es también uniforme. Resulta imposible distinguir un instante de ningún otro, porque el universo de Newton presenta más o menos el mismo aspecto para todos los instantes. No existe ningún baremo fijo para el espacio ni el tiempo de Newton.

Esta similitud entre espacio y tiempo llevó al matemático del siglo XVIII, Lagrange, a considerar el tiempo como una cuarta dimensión del espacio, restringiendo así el papel del tiempo en la teoría física. El tiempo y el espacio estarían en pie de igualdad, y el desplazamiento temporal asumiría un carácter espacial y geométrico. Otros físicos siguieron el ejemplo al desarrollar leyes físicas independientes del tiempo. A finales del siglo XIX, ya existía una tendencia cada vez más fuerte a intentar formular todas las ecuaciones físicas de una manera geométrica donde no varía el tiempo[13].

La unión del espacio y del tiempo

A principios del siglo XX, la idea de fusionar el tiempo y el espacio en una sola entidad se había vuelto cada vez más atractiva. En la novela de H. G. Wells, *La máquina del tiempo,* el protagonista describe una amalgama geométrica tetradimensional del espacio y del tiem-

po. «No existe diferencia entre el tiempo y cualquiera de las tres dimensiones, salvo que nuestra conciencia se desplaza por él», comenta[14]. En cuestión de unas décadas esta fantasía de Wells se convirtió en teoría científica. Utilizando los modelos de movimiento geométrico de Lobachevsky y Riemann, Einstein elaboró una fusión del tiempo y del espacio denominada espacio-tiempo, y la incorporó a sus teorías de la relatividad especial y general.

Según la teoría de Einstein, dos sucesos que ocurren en el universo tienen una distancia que consta de cuatro componentes: tres componentes espaciales y un componente temporal. Los componentes espaciales son lo que podríamos llamar longitud, anchura y altura; el componente temporal es la duración. Se podría dibujar un mapa tetradimensional del universo trazando las distancias entre dos sucesos. Esta descripción detallada de todas las distancias se llama una *métrica.* Por ejemplo, la distancia entre la Batalla de Hastings y la Batalla de Nueva Orleans sería unas 5.000 millas al oeste, 2.000 millas al sur, un desnivel de menos de una milla y una distancia temporal de 8 siglos.

En teoría, se podría construir un modelo del universo para todos los tiempos. Dicho modelo sería estático dentro de su reino tetradimensional. De esta manera, se eliminaría por completo el concepto del tiempo como flujo. El hecho de que percibamos el tiempo como provisto de dilección parecería una debilidad humana, una ilusión total. El protagonista de *La máquina del tiempo* lo expresa así:

«Evidentemente, cualquier cuerpo real debe tener extensión en cuatro direcciones: debe tener Longitud, Anchura, Espesor y Duración, aunque debido a una flaqueza natural de la carne tendemos a pasar por alto este hecho. En realidad existen cuatro dimensiones: tres que llamamos los planos del Espacio, y una cuarta, el Tiempo. Sin embargo, hay una tendencia de hacer una distinción irreal entre

aquellas tres dimensiones y ésta, pues ocurre que nuestra conciencia se mueve intermitentemente en una dirección por ésta desde el principio hasta el fin de nuestra vida.»

Wells, ese pronosticador incorregible del destino humano, previó con exactitud una de las premisas mayores de la relatividad general, ¡veinte años antes!

No obstante, deberíamos señalar una diferencia matemática nada trivial entre el espacio y el tiempo en la teoría de Einstein. En el espacio normal, al calcular la distancia entre dos puntos se puede utilizar el así llamado teorema de Pitágoras: el cuadrado de la distancia total equivale a la suma del cuadrado de la longitud más el cuadrado de la anchura más el cuadrado de la altura. En el espacio tiempo, el cuadrado de la distancia métrica total equivale a la suma del cuadrado de la longitud más el cuadrado de la anchura más el cuadrado de la altura *menos* el cuadrado de la duración. Así que en la métrica, el tiempo lleva un signo negativo y no está exactamente en pie de igualdad con el espacio. No obstante, no está claro de qué manera esta distinción matemática en la relatividad general afecta a la pregunta sobre si el tiempo parece fluir o no. Por tanto, se puede decir que el tiempo tiene, en esta teoría, un carácter geométrico y espacial[15].

La teoría de la relatividad general de Einstein presentó una nueva forma de ver la gravitación. Según la teoría de la gravitación de Newton, cada cuerpo que tenga masa ejerce una fuerza sobre todos los demás (la ley de la gravitación universal de Newton). Luego cada cuerpo cambia su velocidad de acuerdo con la resultante de todas las fuerzas que actúen sobre él (segunda ley del movimiento de Newton). Si no actúa ninguna fuerza sobre él, un cuerpo se mueve en una línea recta a una velocidad constante, puesto que es el camino más corto a través del espacio (primera ley del movimiento de Newton).

Según la teoría de Einstein, en cambio, cada cuerpo que tenga masa deforma el tejido del espacio-tiempo. Todos los objetos persiguen la distancia más corta a través del espacio-tiempo. En vista de que los objetos masivos alabean el espacio-tiempo, el camino más recto a través del espacio-tiempo no siempre coincide con el camino más corto a través del espacio convencional no curvilíneo.

Esto se puede imaginar con ayuda de una analogía. Represéntese el espacio-tiempo como una gran cama elástica. Dos niños juegan a las canicas en la cama. La finalidad de su juego consiste en lanzar las canicas lo más recto posible, lo cual se puede conseguir fácilmente en la superficie elástica plana. Cada canica sigue el camino más corto a lo largo de la superficie, una línea recta. De repente, una roca grande cae sobre la cama elástica, deformando así su superficie de forma considerable. Si los niños intentan reanudar su juego, encuentran que las canicas ya no siguen caminos rectos a lo largo de la superficie cambiada; describen una curva en el sentido del intruso no deseado. Por analogía, comprendemos por qué los cuerpos masivos deforman el espacio-tiempo, provocando que otros objetos sigan trayectorias curvas.

Los experimentos han demostrado que la teoría de Einstein es más exacta que la de Newton. Sin embargo, el cuadro cualitativo del movimiento planetario que surge de la teoría de Einstein es, en esencia, el mismo que el del esquema de Newton. Esto sería de esperar, dada la extraordinaria capacidad de predicción de Newton.

Comparemos la forma en que Newton y Einstein explicarían respectivamente el movimiento de la tierra alrededor del sol. En la descripción de Newton, se ve el sol como generador de fuerza gravitatoria por tener masa. La tierra, que desea seguir un movimiento rectilíneo, descubre que no puede hacerlo por la atracción del sol. Por tanto, cambia su movimiento y se ve obligada a viajar en forma elíptica.

Según el esquema de Einstein, el sol se ve como factor deformante del tejido del espacio-tiempo en una zona del universo, lo cual quiere decir que el sol cambia la métrica de la zona. La métrica describe todas las geodésicas, es decir los caminos más cortos, del área. En un espacio-tiempo plano, la tierra viaja en una línea recta convencional a través del espacio, la cual constituye la distancia más corta. No obstante, puesto que el espacio-tiempo se deforma alrededor del sol, la distancia más corta a través del espacio-tiempo se convierte en elipse. Es éste el camino que la tierra se ve obligada a seguir. Al tener masa, el sol modifica las distancias más cortas entre todos los cuerpos de la zona. El concepto de la fuerza, en tanto que atracción entre dos cuerpos, no llene papel en la teoría de la gravitación de Einstein. Para resumir todo esto, citamos el libro de texto clásico sobre la relatividad, escrito por D. Misner, K. Thorne, y J. Wheeler: «El espacio le dice a la materia cómo ha de moverse... La materia le dice al espacio cómo ha de curvarse.»[16]

Resulta bastante sutil describir en términos matemáticos la teoría de Einstein. Implica unas relaciones exactas entre varias entidades matemáticas que representan la distribución de toda la masa y energía del universo, junto con las distancias entre dos sucesos determinados en el cosmos. De forma indirecta, la distribución de la materia y de la energía en el universo crea la red del espacio-tiempo que dicta el movimiento de todos los cuerpos celestes. Es muy difícil seguir con precisión este procedimiento, salvo en ciertos casos sencillos. Un cálculo corriente atañe a la estructura del espacio-tiempo en torno a un objeto masivo como el sol, o lo que se llama un agujero negro. De ahí se puede deducir el movimiento de otros objetos que rodean el primero. Otro caso consiste en determinar el comportamiento del universo en su totalidad, disciplina que se conoce como la cosmología.

El tiempo y el cosmos

En 1917, Einstein intentó aplicar la teoría de la relatividad a la cuestión cosmológica del comportamiento del universo. Estudió la evolución espacial del universo con respecto al tiempo cósmico, y encontró lo que buscaba: una solución estable de sus ecuaciones que mantenía el mismo carácter para toda la eternidad. Basándose en la ponencia de Einstein, el universo perfectamente estático y de relojería, tan soñado por los antiguos, se realizó por fin con fórmulas matemáticas.

Para desgracia de Einstein y de los que anhelan un orden universal estático, la ponencia contenía un craso error. En 1922, al corregir el error, Alexander Friedmann descubrió que el universo estático de Einstein no era estable, que se expandiría o se contraería con la menor perturbación. Rápidamente, Einstein se encargó de rectificarlo, añadiendo a sus ecuaciones un término nuevo. Este término, denominado la constante cosmológica, estabilizó el universo y lo convirtió en estático. Equilibró la atracción gravitatoria con la repulsión cósmica.

La inclusión del término de constante cosmológica resultó bastante polémica. Muchos cosmólogos creían que no había justificación física alguna para la existencia de un término repulsivo suplementario en las ecuaciones de Einstein. El propio Einstein llegó a reconocer que la introducción del término fue un grave error. Una serie de descubrimientos astronómicos asombrosos asestó un golpe demoledor a la idea de un universo estático, con el resultado de que cayó rápidamente en desgracia el modelo de Einstein[17].

Durante los años veinte de este siglo, los astrónomos empezaron a darse cuenta de que el universo está compuesto por galaxias: agrupaciones grandes y lejanas de estrellas y gases. Entre 1912 y 1925, V.

M. Slipher midió los desplazamientos Doppler en los espectros de más de veinte galaxias. (Los desplazamientos Doppler son cambios de la líneas espectrales cuando un objeto se nos acerca o se aleja a una velocidad determinada. El desplazamiento ocurre tanto en las ondas sonoras como en las de la luz. Es ésta la razón por la que cambia de tono el silbido de un tren según se acerca o se aleja de nosotros.) Para su sorpresa, Slipher descubrió que todas las galaxias tenían sus líneas espectrales desplazadas hacia el rojo. Dicho de otra forma, se dio cuenta de que todas las galaxias que catalogó estaban alejándose de la nuestra. El astrónomo E. Hubble estudió más galaxias, y descubrió que todas ellas, menos las más cercanas, se están alejando de nosotros. Es más: Hubble encontró que la velocidad de recesión es proporcional a la distancia que separa las galaxias de la nuestra.

Existe una explicación evidente para este fenómeno. Puesto que nuestra galaxia no ocupa un lugar especial en el cosmos, todas las galaxias deben de estar alejándose unas de otras, como de una explosión. Si se buscara el origen de la explosión, se descubriría que en un tiempo todas las galaxias estaban mucho más juntas de lo que están ahora. Según la teoría del «Big Bang» (La Gran Explosión), propuesta por Gamow y Alpher en 1948 como modificación de una idea anterior de Lemaitre, el universo comenzó en un estado de extrema densidad. En la formulación original de la teoría, se describió este estado como una bola de fuego caliente compuesta por partículas subatómicas llamadas neutrones. Tuvo lugar una explosión, que arrojó hacia fuera toda la materia y energía del universo. Finalmente, de una forma u otra, esta materia se unió para formar galaxias, estrellas y planetas.

Como se podría esperar, la nueva «prueba» de que el universo tuvo un principio pareció muy inquietante a muchos científicos y fi-

lósofos. Si cada suceso del mundo tenía una causa, entonces ¿cuál fue la causa del Big Bang? ¿Cómo pudo surgir repentinamente de la nada toda la materia y energía del universo? ¿No era una violación de la ley de la conservación de la materia y la energía?

Los astrónomos Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle dieron una respuesta a esas preguntas[18]. Según ellos, aceptar la creación espontánea del universo supondría rechazar repentinamente el enorme almacén de la intuición física que se había ido acumulando desde la obra de Newton. En particular, creían que aceptar la teoría del Big Bang negaría el concepto de que las leyes físicas que existen hoy existiesen de la misma forma en el pasado. Si el universo estuviera evolucionando constantemente, no se podría garantizar ese concepto. Por tanto, postularon que sería más satisfactorio desde un punto de vista estético suponer que el universo siempre ha existido en esencia bajo la misma forma, con el mismo tamaño y obedeciendo a las mismas leyes.

La cosmología del estado estacionario que ellos propusieron no tiene ni principio ni fin. Satisface a un axioma construido por Bondi y Gold: el principio cosmológico perfecto. Este principio afirma que el universo, en todo tiempo, parece ser aproximadamente el mismo. Puesto que el principio cosmológico perfecto determina que no cambia nunca el universo, proporciona un medio de restaurar el modelo de relojería de Newton al tiempo que tiene en cuenta el desplazamiento hacia el rojo provocado por la recesión de las galaxias.

Para explicar el desplazamiento hacia el rojo, Bondi y Gold introdujeron la idea de que se crea continuamente la materia en pequeñas cantidades por todo el cosmos. Esta materia se une a los gases existentes en el universo para formar nuevas galaxias, que se alejan de todas las demás galaxias conforme el universo se va expandiendo. Sin embargo, puesto que siempre se están creando nuevas galaxias,

el número medio de galaxias en un momento determinado sigue siendo el mismo. De este modo, el universo mantiene el mismo carácter para todos los tiempos.

La cantidad de materia que tendría que crearse para satisfacer este proceso es tan exigua que resulta imperceptible. Por tanto, la teoría violaría la ley de la conservación de masa y energía. Sin embargo, según argumentaron Bondi y Gold, la teoría del Big Bang viola esas leyes en una medida importante en los orígenes del universo. Ellos creían que, si han de violarse las leyes, es más lógico que se violen a pequeña escala y constantemente, en vez de a gran escala y todo de una sola vez.

Con el fin de tratar el tema de la conservación de masa, Hoyle dio un paso más que Bondi y Gold. Elaboró una versión modificada del modelo del estado estacionario que no violaba ninguna de las leyes de conservación. Para conseguirlo, modificó las ecuaciones de Einstein añadiendo un término. El término añadido tiene en cuenta la creación continua de la materia al recurrir a otra fuente de energía, con lo cual mantiene intacta la conservación total de materia y energía.

Durante años, la teoría del estado estacionario constituía una alternativa más o menos verosímil a la del universo evolutivo para todo aquel que encontraba algo difícil de tragar la idea de que el tiempo tuviera un principio. Últimamente, sin embargo, la teoría ha ido perdiendo credibilidad, porque han resultado ser falsas muchas de sus predicciones. Existen, no obstante, otros modelos verosímiles que satisfacen el objetivo de una cosmología eterna.

Un modelo que ha permanecido vigente es el de un universo cíclico. Según él, el universo se expande a partir de un punto determinado, alcanza su máxima dimensión, y después vuelve a contraerse hasta llegar a otro punto determinado. Luego se expande de nuevo;

el proceso ocurre hasta el infinito. Muchas soluciones de las ecuaciones de Einstein se ajustan a esa prescripción. Podemos explicar la expansión actual del universo suponiendo que nos encontramos en la primera fase de un ciclo. Esta teoría, conocida también como la idea del universo oscilante, la inventó Alexander Friedmann en 1922. Sólo un universo suficientemente denso puede comportarse de este modo. Lo que no se sabe es si nuestro universo posee o no suficiente materia y energía para provocar un colapso.

Con respecto a un universo oscilante, es interesante la siguiente pregunta: ¿Qué ocurre con el paso del tiempo durante el nuevo colapso? ¿Sigue pasando el tiempo, o es que se invierte? En este último caso, ¿volveremos a vivir nuestra vida en orden inverso durante la segunda parte del ciclo? Thomas Gold ha presentado esta posibilidad. Stephen Hawking, uno de los más brillantes cosmólogos de este siglo, ha sido hasta hace poco partidario de esa visión. Por el contrario, si el tiempo sigue pasando de la forma habitual durante el colapso y la expansión posterior, ¿obedecerá el universo a las mismas leyes físicas en el próximo ciclo? John Wheeler es de la opinión de que puede que no sea así. A su modo de ver, se «re-elabora» mientras bota, de tal suerte que aparece con nuevas leyes y nuevas constantes físicas. Cada expansión y reconstrucción arroja una nueva serie de condiciones. Puede que algunos universos, debido a factores iniciales hostiles, ni siquiera permitan que aparezca la vida ni que se creen planetas.

¡Parece ser que nuestra discusión sobre el tiempo cíclico ha vuelto a su punto de partida! La teoría contemporánea del universo cíclico tiene un parecido extraordinario con el concepto hindú de *yugas*, o ciclos universales, con la idea griega del tiempo cíclico formulado por filósofos como Platón o Heráclito, y con el eterno retorno de Nietzsche. En cada caso, el universo atraviesa una sucesión infinita

de épocas creativas y destructivas. Es posible el cambio, pero al final todo vuelve al mismo estado mediante una catástrofe.

En su búsqueda de la inmortalidad, el hombre ha alzado los ojos hacia los cielos. En nuestros rituales, nos hemos esforzado por hacer nuestro el ritmo de las estrellas. Hemos buscado verdades eternas que no se dejen mancillar por las mareas que erosionan nuestro propio ser corpóreo. Nuestra física ha reflejado esta persecución de lo externo. En nuestro intento de captar en el papel los movimientos celestes, hemos desarrollado ecuaciones físicas independientes de la progresión temporal; al buscar modelos del universo, nos han atraído los que no tienen principio ni fin.

Y, sin embargo, nuestro anhelo de lo eterno corre paralelo a nuestro horror ante la idea de una eterna repetición en la que son claramente fútiles nuestra vida y obras. Si es verdad que se reproduce una y otra vez el universo, todo lo que creemos volverá a convertirse tarde o temprano en polvo. Una alternativa posible a la desesperanza que nace del nihilismo reside en la esperanza que brinda la fe religiosa. Consideremos ahora la forma en que algunas religiones occidentales han interpretado el significado del tiempo y de la Historia.

Referencias

1. Ruth Reyna: «Metaphysics of Time in Indian Philosophy», en Jiri Zeman (redactor), *Time in Science and Philosophy,* Elsevier Publishers, Nueva York, 1971.

2. Mircea Eliade: *A History of Religious Ideas,* University of Chicago Press, Chicago, 1978.

3. James B. Wilbur: *The Worlds of the Early Greek Philosophers,* Prometheus Books, Buffalo, Nueva York, 1979.

4. F. Cornford: *Plato's Cosmology,* Harcourt, Brace & Co., Nueva York, 1931.

5. A. E. Taylor: *A Commentary on Plato's Timaeus,* Oxford University Press, Oxford, 1928

6. Aristoteles, C. J., Williams (trad.): *De Generatione et Corruptione,* Clarendon Press, Oxford, 1982.

7. M. M. Bakhtin: *The Dialogic Imagination,* University of Texas Press, Austin, 1981.

8. F. Copleston: *Friedrich Nietzsche, Philosopher of Culture,* Harper and Row, Nueva York, 1975.

9. Friedrich Nietzsche, A., Ludovici (trad.): *The Will to Power,* T. N. Foulis, Londres, 1910.

10. Richard Schacht: *Nietzsche,* Routledge and Kegan, Londres, 1983.

11. Milan Kundera: *The Unbearable Lightness of Being,* Harper and Row, Nueva York, 1984.

12. Jorge Luis Borges: «Biblioteca de Babel», «Pierre Menard, Autor del Quijote», y «El Inmortal», en *Labyrinths.* Copyright © 1962, 1968 por New Directions Publishing Corporation, Nueva York. Reproducido por cortesía de New Directions Publishing Corporation.

13. G. J. Whirow: *The Natural Philosophy of Time,* Harper and Row, Nueva York, 1963.

14. H. G. Wells: «The Time Machine», in *Three Prophetic Novels,* selecciona-do por E. F. Bleiber, Dover, Nueva York, 1960.

15. Gerza Szamosi: *The Twin Dimensions,* McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

16. C. Misner, K. Thorne y J. Wheeler: *Gravitation,* Freeman, San Francisco, 1973.

17. Jacques Merleau: *The Rebirth of Cosmology,* Alfred A. Knopf, Nueva York, 1976.

18. Jayant Narlikar: *Introduction to Cosmology,* Jones and Barlett, Boston, 1983.

2

La vía descendente

El ocaso del tiempo circular

Según la versión más tradicional de las religiones judía, cristiana y musulmana, se creó el mundo de la nada hace unos 5.800 años. El día sexto de la creación se formó el hombre del polvo de la tierra, y la mujer se creó del hombre. Ubicados en el Edén, llevaban una vida idílica, libres del sufrimiento y de la enfermedad. En su inocencia, carecían de una autognosis completa y de todo sentido del cambio. No había nada en su vida que pudiera marcar el flujo del tiempo. Sin nacimiento ni decadencia, cada día se parecía a cualquier otro.

La Biblia no indica claramente si Adán y Eva eran o no verdaderamente inmortales, o si eran simplemente inconscientes de la muerte. De tratarse de este último caso, se encontrarían en la misma situación que la mayoría de los seres vivos. Porque es cierto que, como ha dicho Borges, «ser inmortal es un tópico; con la excepción del hombre, todas las criaturas son inmortales, pues son ignorantes de la muerte.»[1]

A Adán y Eva se les prohibió comer la fruta de dos árboles del Jardín: el árbol de la ciencia del bien y del mal y el árbol de la vida.

No se prohibía de forma explícita la fruta de este último, pero el conocimiento del árbol de la vida llegaría sólo después de comer la fruta del árbol de la ciencia. La fruta del árbol de la vida confería la inmortalidad, concepto ajeno a quienes no supieran apreciarlo.

Adán fue advertido de que si comía del árbol de la ciencia ciertamente moriría. Por otra parte, únicamente el árbol de la vida podía

conferir la inmortalidad. Tan sólo evitando el árbol de la ciencia él y Eva podrían permanecer en su estado de dicha inocente. Sin embargo, la serpiente los tentó para que comiesen la fruta. (Es interesante notar que las serpientes son símbolos del tiempo circular o eterno en muchas religiones orientales primitivas, como es el caso de la imagen jainista de la serpiente que devora su propia cola.)[2] Tanto Adán como Eva probaron la fruta y así se hicieron conscientes de su situación en el mundo. En aquel momento, intervino Dios para impedir que probaran la fruta del árbol de la vida y que accedieran a la vida eterna. Adán y Eva fueron arrojados del Jardín y condenados a llevar una vida de trabajo, con la conciencia siempre presente de la mortalidad.

En cierto sentido, la Caída representó el verdadero principio del tiempo y de la Historia. El conocimiento de la muerte va acompañado de la conciencia del tiempo que pasa, o del tiempo lineal. Todos experimentamos este despertar cuando, por vez primera, nos hacemos conscientes de la muerte. De ahí la diferencia esencial entre la infancia y la madurez: el niño vive cada día como si no existiera otro; el adulto hace proyectos para el futuro. Con la edad, nos volvemos cada vez más conscientes del paso del tiempo. Si miramos bajo una luz simbólica la expulsión del Jardín del Edén, vemos que representa la pérdida de la inocencia al revelársenos el conocimiento de la muerte.

Así podemos interpretar la historia del la Caída como transición desde una perspectiva temporal circular hasta una lineal. Al dejar el Edén, Adán y Eva abandonaron la idea de que cada día se parece a cualquier otro. Llegaron a conocer de una forma dolorosa la existencia de la muerte y de los estragos del tiempo. Había comenzado, pues, la Historia para ellos.

La concepción bíblica del tiempo es lineal e histórica. Empezando por el Génesis y la Caída, la Biblia constituye una crónica de los hechos humanos y de la intervención divina. Todos los sucesos ocurren en fechas determinadas que indican un esquema unidireccional del mundo. Ello contrasta con las visiones hindú y griega del universo que, como ya hemos visto, enfocan el tiempo de una forma circular, carente de finalidad y dirección.

En la fe hindú, los acontecimientos divinos existen fuera del reino del tiempo humano. Ocurren en una arena trascendental ajena a la vida de los individuos –la que Eliade denomina «tiempo sagrado»[3]. Esto corresponde a la visión hindú de un mundo periódico. Según esta visión, la historia humana es insignificante. ¿Qué tiene que ver el comportamiento de los dioses inmortales con la vida de los seres humanos durante un ciclo determinado de un universo que se repite hasta el infinito?

Lo mismo se puede afirmar de la civilización griega. Para los griegos antiguos, la religión no era histórica en ningún sentido de la palabra. Según su percepción, los acontecimientos mitológicos ocurrían fuera del contexto de la actividad humana, pues, como Platón creía, el mundo tal como lo vemos nosotros no es más que una sombra del reino verdadero e invariable de los dioses.

Por contraste, la religión judía y las derivadas de ésta, la cristiana y la musulmana, ven en la historia humana parte de un proyecto divino. Se cree que los sucesos humanos ocurren una sola vez y que

tienen a menudo un significado religioso. Por eso se dice que esas religiones representan una visión lineal del tiempo que difiere del tiempo cíclico de la mayor parte del mundo antiguo.

El judaísmo está obsesionado por la Historia y por el significado de la Historia. Para él las leyes de Dios son entidades dinámicas que se revelan poco a poco y no todas de una vez. De alguien nacido con anterioridad a Moisés, Dios esperaría cierto tipo de conducta, pero de quienes nacieron posteriormente esperaría una moralidad superior. Según el sentido judío de la vida, Dios dictó la ley mosaica en un momento determinado de la historia. Para los judíos, la historia humana tiene una finalidad desde el momento en que comenzó con la Caída hasta que culmine en una era mesiánica de paz. Nunca se pone en duda el hecho de que exista un proyecto divino, a pesar de que se considera que los detalles de ese proyecto se revelan a la Humanidad de una manera lenta y fragmentada.

El cristianismo lleva un poco más lejos ese punto de vista. Para el cristiano, ya se ha revelado el proyecto divino. Los sucesos del Antiguo Testamento prefiguran el suceso más importante de la historia humana: el advenimiento de Cristo. La fe cristiana deja bien claro que el nacimiento, la muerte y la resurrección de Cristo tuvieron lugar una sola vez en un momento preciso de la Historia: la época de César Augusto. La posibilidad de que existieran múltiples Salvadores o múltiples resurrecciones constituye una blasfemia contra el cristianismo[4]. Según el pensamiento cristiano, la historia de la Humanidad esta dividida en cuatro períodos: la era de la ley natural, la de la ley mosaica, la de gracia y la de gloria. Esta última sigue al segundo advenimiento de Cristo. El orden de estas épocas tiene sentido sólo cuando se presenta de una manera determinada; si se presenta de cualquier otra forma se pierde el sentido de la historia. Así,

el tiempo cristiano es lineal y se le puede caracterizar por una fecha que apunta del pasado al futuro.

De este modo, las revelaciones de los profetas del Antiguo Testamento apuntaron al advenimiento de Cristo. Todo lo ocurrido antes de su aparición preparó el terreno para ese gran acontecimiento. Los que nacieron antes de Cristo no tuvieron ninguna posibilidad de salvación. El advenimiento de Cristo representó un momento crítico y único en la historia cuando, por vez primera, se hizo posible la salvación humana.

El mensaje de la historia humana es que, a partir del pecado original de Adán y Eva, los hombres y las mujeres han cometido una serie de pecados y blasfemias contra Dios. Si se la deja a sus propios medios, la raza humana seguirá hollando el camino hacia la destrucción hasta que todo quede aniquilado en la batalla del Harmagedón, resultado directo o indirecto de la estupidez humana. Antes del segundo advenimiento de Cristo y el fin de los tiempos, la historia del hombre es profundamente pesimista, por ser irreversible el camino hacia la destrucción. Sólo cuando termine la historia humana, se enderezará todo con la recreación del Jardín de Edén. Así es el retrato del tiempo que pintaron los primeros cristianos, iniciado por el Apóstol Pablo y retocado por el teólogo del siglo V San Agustín[5].

En sus *Confesiones,* San Agustín divide el mundo en dos esferas: el mundo terrenal y la Ciudad de Dios. El autor sostiene que se deberían acatar las leyes seculares mientras se viva en el mundo, pero al mismo tiempo hay que dedicarse a la vida del espíritu. Uno debe distanciarse de los males del mundo, pues el reino terrenal está abocado a la destrucción. Por tanto, es profundamente pesimista la visión que tenía Agustín de la historia. La única esperanza de salvación estriba en una fe completa en Cristo, no sólo en la creencia de que se puede reformar la Humanidad. No obstante, a pesar de su pe-

simismo en torno a la naturaleza humana, Agustín encuentra esperanza en el Juicio Final de Dios. Sólo después de Harmagedón y el Juicio Final se establecerá en la tierra la Ciudad de Dios. Quienes hayan sido fieles volverán a nacer en ese reino.

San Agustín argumentaba que el cristianismo es incompatible con el concepto del tiempo cíclico. Según él, comenzó el tiempo en el mismo momento de la creación; terminará sólo cuando se restaure en la tierra el reino de Dios. De ninguna manera puede haber repetición de estos acontecimientos; el eterno retorno les privaría de su sentido.

Desde sus primeros momentos, el tiempo lineal cristiano chocaba con el tiempo cíclico de los griegos. Los eruditos medievales tuvieron muchas dificultades para conciliar la idea de un proyecto divino que se revela a través de la Historia con la de un Dios inmutable. Para los griegos, la presencia divina es eterna y el universo invariable. Para los cristianos, en cambio, el universo se está desarrollando, avanzando hacia un fin. Los eruditos medievales se vieron en la necesidad de resolver la aparente contradicción entre un Dios eterno y un Dios providente. Si un Dios perfecto hubiera creado el universo, éste también debía ser perfecto. ¿Cómo se podía justificar cualquier tipo de desarrollo histórico, puesto que sólo conduciría a la imperfección?

En su cuento corto *Los Teólogos,* Jorge Luis Borges se imagina cómo podría haber sido el debate medieval entre los partidarios del tiempo circular y los defensores cristianos del tiempo lineal. Borges se representa un culto de discípulos de Platón, que utilizan como símbolos la rueda y la serpiente. Dicho culto defiende el concepto de ciclos cósmicos. Los que abrazan este dogma se ven derrotados por los seguidores de la cruz, quienes hacen hincapié en la naturaleza lineal del tiempo:

«Ha escrito Agustín que Jesús es el camino recto que nos salva del laberinto circular en que creen los impíos... Jesús no fue sacrificado muchas veces desde el principio del mundo, sino una sola vez... El tiempo no vuelve a crear lo que perdemos; la eternidad lo guarda para el cielo o el infierno.»[6]

A pesar del auge del cristianismo, la visión griega de un mundo cíclico seguía siendo una fuerza persuasiva durante la Edad Media. La obra de Aristóteles ejercía una marcada influencia en la filosofía y la ciencia. Es perfectamente comprensible el intenso atractivo del tiempo cíclico y de un modelo estático del universo durante ese período, dada la ausencia del crecimiento histórico y científico. La historia parecía haberse paralizado. Se producían guerras y los territorios cambiaban de mano, pero parecía que estos acontecimientos ocurrían sin orden ni concierto. Los imperios aparecían y caían sin ningún sentido de progresión histórica. No se descubrieron nuevas tierras durante la Edad Media, de modo que permanecía relativamente estático el mapa del mundo. Cuando el espacio es estático, el tiempo pierde su significado en tanto que medida del cambio. En otras palabras, si el espacio sigue invariable, el tiempo carece de flecha direccional.

Resulta fácil comprender, además, porqué se verían atraídas por el tiempo circular las comunidades agrícolas tan características de la Edad Media. Como ya hemos visto, la idea del ciclo cósmico está estrechamente vinculada a la sociedad agrícola. El agricultor es mucho más consciente que el artesano de la periodicidad estacional de la naturaleza. En ciertas épocas del año se debe sembrar; en otras, se puede cosechar. La gente envejece, pero la naturaleza parece repetirse. El supersticioso campesino medieval creía que quizá, como las plantas, la gente y los acontecimientos volverían una y otra vez.

Sólo después del Renacimiento, período de desarrollo artístico, científico y comercial, empezó a predominar la idea del tiempo li-

neal. Esta época representa una clara ruptura con la calidad estática de la Edad Media. Así la gente estaba dispuesta a aceptar una concepción dinámica del tiempo. Durante esa época de cambios rápidos, volvieron a despertar gran interés los detalles del «proyecto divino». En el cristianismo resucitó con creces el concepto del tiempo lineal mientras que los aspectos cíclicos y ritualistas de la fe fueron languideciendo.

Coincidió aproximadamente con esa época el auge del protestantismo. La Reforma representó un distanciamiento de sus aspectos rituales por parte del cristianismo junto con un acercamiento a su concepción de la redención histórica. Esto se refleja nítidamente en la poesía de John Milton. Los poemas épicos de Milton, *El Paraíso Perdido* y *El Paraíso Recuperado,*[7] escritos durante el siglo XVII, presentan una visión ordenada de la historia del cielo, del infierno y de la tierra. Es interesante observar que estas epopeyas dan la impresión de ser la crónica de un conflicto militar encarnizado en el que la sucesión de los acontecimientos tiene un orden bien definido: Satán y los ángeles del mal dan batalla a las huestes celestiales y, a continuación, empiezan a corromper a la Humanidad, la preciada creación de Dios. Al final, las fuerzas de Dios se llevan la victoria a medida que la historia del hombre se va acercando a su fin. De este modo, en la obra de Milton, se ven los acontecimientos humanos dentro del marco del plan maestro de Dios, confiriendo así al tiempo un sentido y una forma.

El sello del tiempo lineal reside en el gran sentido que tiene el *orden* de los acontecimientos. El significado de la crónica de Milton depende totalmente del orden de los sucesos. Carecería de todo sentido ver los acontecimientos en orden inverso. Por contraste, en el esquema del tiempo circular no existe ningún modelo perceptible de

cambio en el mundo. Por consiguiente, el orden de sucesos terrenales no tiene un sentido determinado.

Comparemos, por ejemplo, *El Paraíso Perdido,* que representa el enfoque lineal cristiano del tiempo, con *La Odisea* de Homero, que representa la visión griega del tiempo circular. Si se dispusieran de otro modo los sucesos de la epopeya de Homero, apenas se adivinaría que tenían el orden cambiado. La historia tiene un ritmo regular que puede alterarse sin que afecte al argumento: Odiseo, el protagonista, abandona su casa, emprende una aventura y después vuelve. Abandona su casa de nuevo, emprende otro viaje, para volver una vez más. No varía mucho su carácter a lo largo del libro. Si bien no es circular en el sentido más estricto la crónica de Odiseo, es más o menos atemporal en el sentido de que sus acontecimientos carecen de una sucesión global y de una conclusión definitiva. En la epopeya de Milton, en cambio, no se pueden disponer los sucesos de otro modo sin romperles el sentido. Tiene una conclusión clara, que representa el fin de la historia humana.

Puede enfocarse el tiempo lineal desde muchos ángulos distintos. Si uno cree en el tiempo lineal, puede atribuir a la sucesión de acontecimientos el significado que corresponda a la naturaleza de su creencia. Por ejemplo, para un cristiano miltoniano la finalidad de la historia humana sería la libre aceptación de Cristo por parte del hombre, que conduciría a la salvación y a la recuperación del Paraíso. Para un marxista, la historia humana sería un proceso dinámico con sus raíces hundidas en factores económicos y que desembocaría en el comunismo puro. Un pesimista podría contemplar la creciente dureza de las guerras humanas y sospechar que todo suceso apunta a la hecatombe. Y, sin embargo, a pesar que todas estas interpretaciones del tiempo lineal, el significado de la historia depende de su sentido unidireccional.

En los últimos siglos, se han producido, a escala mundial, profundos cambios en la política, la economía y la cultura. Estos cambios han sido tan impresionantes que la idea del tiempo lineal se ha hecho cada vez más influyente. Está claro que, las dos razones que han impulsado esta revolución de la percepción humana son, en primer lugar, el crecimiento extraordinario del mapa humano del cosmos bajo la forma de la expansión territorial y la exploración del espacio y, en segundo lugar, la Revolución Industrial, que guarda relación con lo anterior y que cambió radicalmente la economía global.

Antes del fin del siglo xv, los sabios de Europa creían, por lo general, que el mundo estaba compuesto por Europa, África y Asia. Consideraban a Europa el centro del universo, y a los demás continentes, insignificantes. Ahora bien: los últimos siglos han sido testigos de innumerables conquistas y de una enorme expansión territorial. El descubrimiento de América duplicó –nada menos– nuestra concepción de la extensión del mundo, y la exploración de África, Asia y Australia modificó profundamente las percepciones geográficas. En cierto sentido, el mundo creció de una manera desaforada durante esa época.

El desarrollo de la astronomía moderna tuvo también un fuerte impacto en nuestra percepción de la extensión del universo. Una vez comprendida la amplitud del espacio, las posibilidades de la expansión se quedaron sin límites. Se extendió cada vez más el alcance de la Humanidad. Finalmente, el espacio llegó a verse como otra frontera humana más. Los astronautas se convirtieron en los equivalentes modernos de Colón y Cook.

Los cambios de percepción del espacio pueden ejercer una influencia profunda en el esquema temporal que adopte una sociedad determinada.

Cuando se considera invariable el espacio, el esquema favorecido del universo es el tiempo cíclico; cuando parece que el espacio está creciendo a una velocidad enorme y van expandiéndose cada vez más las fronteras humanas, resulta más atractiva la idea de la progresión. El cambio, bajo la forma de la expansión espacial, suele ocurrir de una manera unidireccional. La dirección del cambio determina la flecha del tiempo lineal.

La Edad de la Exploración, que abarcaba los siglos XVI y XVII fue fruto de la búsqueda de mercados nuevos y materias primas y coincidió con la Revolución Industrial. Durante esta época, el centro de gravedad de la sociedad se desplazó desde la agricultura hasta la industria y el comercio. Con el ocaso de la agricultura como fuerza social importante, la gente se desvinculó de la tierra, de la cosecha y de los ritmos cósmicos. La idea de la regeneración periódica, fomentada en la reaparición anual de las plantas, fue perdiendo importancia. Al mismo tiempo, la incipiente sociedad capitalista resaltó el crecimiento y el cambio como requisitos de la acumulación de la riqueza y el desarrollo futuro. Las instituciones agrícolas pueden permitirse el lujo de permanecer estáticas, pero las organizaciones comerciales precisan de un crecimiento constante si han de generar nueva riqueza. Hay que buscar nuevos recursos y mercados; hay que contratar nueva mano de obra para mantener en funcionamiento las máquinas.

De la mano de la expansión industrial llegó una creciente movilidad del orden social. En una sociedad campesina, suele ser difícil que cambie de una manera significativa la vida de un agricultor. Son inviolables las diferencias de casta. De este modo, era natural que un campesino perteneciente a una sociedad preindustrial percibiera que cada día se parecía a otro cualquiera y cada época a cualquier otra. Vendrían malos tiempos, pero les seguirían ineludiblemente tiempos

buenos. Por ejemplo, a una sequía le podría seguir una época de gran fertilidad y abundancia, lo cual conducía de forma natural a una percepción cíclica y atemporal de los sucesos. En una sociedad industrial, sin embargo, no existe ninguna barrera rígida que impida la movilidad social hacia arriba. El esfuerzo y la suerte son los factores que determinan la posición social.

Por consiguiente, después de la Revolución Industrial, llegó a considerarse natural y hasta necesaria la idea de un cambio en la vida y el mundo del individuo. Si la gente no procuraba mejorar su condición, era por indolencia. Si no se desarrollaba una organización o una nación, se quedaba rezagada con relación a sus tiempos.

Las religiones protestantes emergentes, resaltaron el trabajo y el afán de superación como señales de favor de Dios. A las primeras naciones se las consideraba los depositarios del plan divino. Naturalmente, el cristianismo se iba aferrando aún más a un modelo de tiempo lineal conforme iban arraigándose las ideas del progreso y del cambio. Del mismo modo que el catolicismo contiene menos rasgos tradicionales y reiterativos que el judaísmo, el protestantismo a su vez abandona muchas tradiciones católicas. Por tanto, de las tres religiones el judaísmo es la que menos se asocia con el tiempo lineal. A pesar del concepto de que la Humanidad va avanzando y de que la historia es real, existe poco sentido del cambio o del progreso en la vida diaria de los judíos ortodoxos. El judaísmo tradicional insiste en la observancia de centenares de leyes destinadas a regular la vida diaria. Se estudia la Biblia judía de una forma cíclica, leyéndose los mismos extractos los mismos días de cada año.

A diferencia del judaísmo, la fe católica no establece un ritual diario completo para los devotos, pero sí contiene muchos aspectos reiterativos que no se encuentran en las versiones más radicales del protestantismo. Por ejemplo, si bien los dos dogmas cristianos insis-

ten en el carácter histórico de la resurrección de Cristo, la Iglesia Católica sostiene que la sangre y el cuerpo de Cristo vuelven a materializarse mediante la ceremonia de la transubstanciación. La mayoría de las sectas protestantes rechazan este concepto por blasfemo, afirmando que Cristo no volverá hasta el fin del mundo.

En el protestantismo, así como en las interpretaciones liberales del judaísmo y del catolicismo, se hace poco hincapié en la tradición. Las tradiciones practicadas se consideran aspectos nada esenciales de la religión; las ceremonias no se tienen por sagradas e inmutables. El concepto predominante del progreso humano y la importancia del desarrollo histórico han eliminado la importancia otrora dominante de esas costumbres. Las formas modernas de todas las religiones occidentales reflejan la profunda influencia ejercida por la percepción lineal del tiempo. Conforme la sociedad ha ido desarrollándose ha ido menguando la importancia del ritual.

El peso de la historia

Evidentemente, se ha pagado un precio por abandonar los antiguos dogmas y, sin lugar a dudas, cierto grado de seguridad personal se ha perdido durante la transición. Mircea Eliade, en su famoso libro *Cosmos and History,* lamenta la pérdida del sentido de una relación íntima con la naturaleza, pérdida que deriva de la sustitución, por el tiempo lineal del cristianismo, de las religiones basadas en los ciclos cósmicos8. Ante las catástrofes naturales al campesino le quedaba el consuelo de saber que tanto los buenos como los malos tiempos formaban parte de un ciclo natural. Era tradicional considerar las calamidades que recayesen sobre una sociedad determinada parte del camino descendente de un ciclo temporal. Se esperaba que la parte ascendente, o constructiva, del ciclo siguiera pronto. Si el tiempo es

lineal, no cabe semejante expectativa. Las cosas podrían empeorar progresivamente. De este modo, la Historia es una carga que todos debemos soportar.

Los rituales de la vida de un campesino estaban relacionados con arquetipos celestes; es decir, creían que se los trasmitían los dioses. El campesino realizaba alguna función a sabiendas de que se había repetido y que seguiría repitiéndose de exactamente la misma manera para toda la eternidad. A quienes sabían que era probable que sus tradiciones se repitiesen de la misma forma para siempre, ello les dotaba de cierto tipo de inmortalidad. Sin embargo, en cuanto se acepte la idea del cambio unidireccional, dicho consuelo se pierde.

Además, la creencia en los ciclos cósmicos tiene ciertos aspectos igualitarios ausentes de la perspectiva del historicismo, según la cual el mundo está cambiando. Una minoría selecta de hombres y mujeres suele determinar el cambio histórico, y somos muy pocos los que conseguimos el poder de influir ni un ápice en la Historia. En cambio, cada uno de nosotros sí puede practicar ciertas tradiciones que le proporciona otro medio de hacerse inmortal; todos podemos disfrutar de una vida sagrada. El concepto del progreso histórico niega en esencia la fuerza de las tradiciones que todos podemos compartir, sustituyéndolas con la idea de que sólo unos cuantos podemos influir de modo perceptible en el mundo.

Sin la eterna repetición, nuestro ser es «leve», y nuestra existencia insignificante, como afirma Milan Kundera. Los vientos del cambio se llevan para siempre cada acto nuestro. Sólo unos pocos privilegiados conseguimos que nos dediquen una estatua, pero incluso este tipo de monumentos acaba desmoronándose. Por último, la mayoría de las religiones antiguas utilizan el tiempo cíclico como antídoto de la muerte. Mediante la reencarnación, todos los seres vuelven repetidamente a la tierra bajo formas corpóreas distintas. Las religiones

fundamentadas en el concepto del tiempo lineal suelen rechazar la posibilidad de la reencarnación.

Para Eliade, la transición de la creencia humana desde el tiempo circular hasta el lineal ha producido un efecto devastador a la vez que desmoralizadora. Él lo compara a la expulsión de Adán y Eva del Jardín de Edén. Adán y Eva vivían en un paraíso donde cada día se parecía a todos los demás –en otras palabras, un cosmos cíclico. Su desgracia derivó del descubrimiento de la muerte y la idea de que es posible el cambio. Una vez hecho ese descubrimiento, ya no era sagrada ni perfecta su vida. De un modo parecido, al rechazar la tradición y el concepto de los ciclos universales, la vida humana ha perdido la santidad que entrañaría la eterna repetición.

La solución cristiana a los problemas derivados de la Caída es la fe, en que, a través de Cristo, se restablecerá algún día el Paraíso. Según la visión cristiana, esto ocurrirá al fin de la historia humana. En otros términos, se desterrará de nuevo el tiempo histórico, que será sustituido por la atemporalidad del Paraíso. Eliade ve en esta posibilidad el único consuelo para quienes se sientan alienados por la naturaleza lineal del tiempo y por la muerte eventual:

«*El cristianismo indiscutiblemente demuestra ser la religión del "hombre caído": y esto en la medida en que el hombre moderno se identifica irremediablemente con la historia y el progreso, y en que la historia y el progreso suponen una Caída, implicando estos dos hechos un abandono definitivo del Paraíso de arquetipos y repetición.*» [9]

A principios del siglo XIX, la sociedad agrícola estaba ya en franco declive en Europa y en los Estados Unidos recientemente independiza-

dos. Se respiraba un aire de progreso y cambio conforme el desarrollo industrial anunciaba un nivel de vida más alto para la mayoría de los europeos y los estadounidenses. A medida que los traba-

jadores huían de las granjas para trasladarse a las ciudades, la gente se preguntaba si algo no se habría perdido al abandonar la tierra y la tradición agrícola. ¿Quizá no deberían haberse deshecho nunca de la vida sencilla, junto con su reconfortante previsibilidad? ¿No habría sido una caída de un tipo de paraíso?

La nostalgia por la sociedad agrícola y el tiempo estático asociado a ella se asoma de vez en cuando bajo diversas formas tanto benignas como destructivas. En general, se da este anhelo de una época más sencilla cuando el cambio se considera demasiado rápido o demasiado perjudicial. Esta clase de nostalgia se encuentra en las obras de Nietzsche cuando resucita el concepto del eterno retorno. Puesto que el tiempo circular se puede asociar con la sencillez, la obra de Nietzsche quizá fuese una reacción ante las revueltas provocadas por los cambios rápidos del siglo XIX. Otro ejemplo de la fascinación por la eterna repetición es la novela circular de James Joyce, *Finnegan's Wake,* en la que la primera frase del libro constituye una continuación de la última[10].

El historiador alemán, Oswald Spengler, destacado partidario de una visión cíclica de la civilización y cuyas obras aparecieron en los años veinte de este siglo, nos suministra otro ejemplo más de esa nostalgia. En su influyente libro *Decadencia de Occidente,* Spengler compara una sociedad a un organismo biológico. Del mismo modo que cada ser vivo madura, decae y acaba muriéndose, cada civilización atraviesa sus correspondientes períodos de auge y decadencia. Cada sociedad experimenta un período de desarrollo cultural al que sigue una época de estancamiento y declive. Cada cultura nueva empieza con el auge de una nueva mitología.

Por ejemplo, la cultura de la India comenzó con la creación de las escrituras védicas; la sociedad griega, con la poesía épica de Homero y con las leyendas del Olimpo. El «verano» de la cultura, que consti-

tuye la época siguiente, incluye la mayoría de las obras filosóficas características. A esta época le siguen los años «otoñales» de los mayores logros filosóficos. Platón y Aristóteles vivieron el otoño de la cultura griega. Al fin, cada cultura entra en sus años «invernales», período en que la cultura se convierte en civilización. Para Spengler, la civilización representa una era de estancamiento cultural –época en que los rasgos distintivos de la sociedad se ven erosionados y deformados.

Spengler resalta las similitudes de la grandeza y decadencia de cada cultura. Ya que cada sociedad encarna una serie de valores distintos, Spengler opina que es vano afirmar que una serie de valores concretos es superior a otra. Por tanto, no se puede mantener que existen verdades eternas. Se debe estudiar de forma objetiva las leyes generales que rigen la formación y divulgación de esas ideas, pero sin tener prejuicios en cuanto a su mérito. Es lo que se denomina el relativismo filosófico.

Al equiparar el crecimiento y la decadencia de todas las civilizaciones, Spengler declara que no existe ninguna tendencia general en la Historia. A su modo de ver, ésta no se puede caracterizar por la decadencia ni por el progreso: uno no puede sacar la conclusión de que su propia época tenga unos rasgos especiales que representen una tendencia general hacia cierta meta.

Después de ofrecernos un panorama general de su enfoque de la Historia, Spengler nos informa a continuación del profundo estado de decadencia en que se encontraba el mundo occidental de su tiempo. Esta decadencia se caracterizaba por el colapso de la monarquía alemana y su sustitución por el liberalismo, el socialismo y el parlamentarismo. A diferencia de muchos coetáneos suyos, Spengler asociaba la democracia a la decadencia, y el gobierno autocrático a la cultura refinada.

Los partidarios del tiempo circular suelen creer en una edad de oro pasada y llena de glorias, creencia que va acompañada de la sensación de que su propia época es algo defectuosa. También comparten la viva esperanza de que se restablezca esa edad de gloria. El auge del movimiento nazi en Alemania sirve de ejemplo del abuso de ese tipo de nostalgia. Uno de los métodos que utilizó Hitler para hacerse con el poder fue su explotación del anhelo por parte del pueblo alemán de volver a una época agrícola más sencilla. Si bien la verdadera política de Hitler fue totalmente distinta, insistió, en su propaganda, en su deseo de recuperar para la sociedad alemana los valores teutónicos medievales. La idea del tiempo circular desempeñaba un papel importante en el mito nazi, a saber el concepto de la resurrección del fénix de sus cenizas. Ello encontró expresión en la visión que tenía Hitler de un Reich milenario. Argumentaba que una nueva Alemania surgiría de su aplastante derrota al igual que lo había hecho en ciclos pasados. No es extraño que el detestado emblema nazi fuera una cruz gamada –el antiguo símbolo hindú del tiempo circular.

Después de la derrota de los nazis se publicó la obra maestra de Hermann Hesse, *The Glass Bead Game* [12] *{El juego de los abalorios}*. Hesse, hombre muy influenciado por el budismo, se imaginó un futuro muy parecido a la Edad Media. En esta sociedad imaginaria, vuelve a considerarse estático el tiempo cuando un nuevo orden rígido, dedicado a la especulación filosófica, domina el mundo. Al fin de la novela, sin embargo, Hesse se declara en contra de ese tipo de nostalgia, dejando entrever cierto desprecio hacia esa rigidez.

Un ejemplo reciente de la añoranza del Paraíso se puede ver en el movimiento de la «vuelta a la naturaleza» de los años sesenta. Miles de personas buscaron una vida más sencilla en las comunas agrícolas. Asistimos una vez más al rechazo del progreso y del cambio,

acompañado de una vuelta a los mitos del tiempo cíclico. Se produjo un nuevo despertar de la filosofía hindú, mientras que el «amanecer de la Edad de Acuario» se anunció como el inicio de una época de paz y amor que seguiría a los tiempos de conflicto y enconamiento. El interés por la astrología durante ese período constituyó otro indicio más de la creencia popular en los ciclos cósmicos.

Es interesante meditar las siguientes preguntas: ¿Por qué ocurren las épocas de nostalgia cuando ocurren? ¿Cuál es el aglutinante de los períodos en que se añora la vida sencilla? ¿Qué es lo que conduce a la gente a esperar que se repita el pasado en un eterno retorno?

Una posible respuesta reside en el hecho de que estos movimientos parecen tener lugar frecuentemente después de unas guerras devastadoras (La Primera y Segunda Guerra Mundial, la del Viet-Nam). Durante los últimos siglos, la guerra se ha vuelto cada vez más intensa y cruel. En general, los cambios sociales de mayor envergadura y sin lugar a dudas las más destructivas se han debido a las guerras. Se han modificado o incluso borrado las fronteras nacionales; han quedado arrasadas las ciudades y aniquilados pueblos enteros. Es durante estas épocas tan sombrías cuando se revelan de la manera más directa los espantos de la Historia.

Lógicamente, existe una gran esperanza de que a una guerra le siga una etapa de construcción. Es entonces cuando más atrae el concepto del tiempo circular, pues se teme profundamente que continúen las épocas de destrucción, que las cosas empeoren cada vez más y que finalmente llegue el Harmagedón, culminado con el exterminio total de la Humanidad. Huelga decir que acogerían la posibilidad de una devastación completa sólo los que crean que el Paraíso sigue al Harmagedón. Así, la idea de los ciclos temporales proporciona un medio de evitar la horrible perspectiva del fin del tiempo. Contribuye a hacer más soportable el fuerte peso de la Historia.

No cabe duda de que la eventualidad de una guerra nuclear ha hecho que parezca más que real la visión de la destrucción del mundo. Ahora debemos contar con la posibilidad de que la estupidez humana pudiera acabar con el tiempo mismo. Pues si relacionamos el tiempo con el cambio y el desarrollo está claro que no habría ningún cambio en absoluto después de una devastación nuclear. Esto representaría la prueba definitiva de la naturaleza lineal del tiempo, puesto que un círculo no tiene fin. Un holocausto nuclear supondría el fin del tiempo para la Humanidad.

Habrá quienes objetan que el tiempo podría continuar a pesar del fin de la vida en la tierra. Otros planetas podrían albergar la vida inteligente. Aunque cesara el tiempo para los terrícolas imprudentes, seguiría fluyendo para los habitantes más pacíficos del universo. Desafortunadamente, la estupidez humana no es la única forma de acabar con la Historia. Además de desencadenar cambios radicales en la cultura y la filosofía, la Revolución Industrial dejó vislumbrar el posible fin del universo y el ocaso del tiempo debido a circunstancias naturales inevitables. La ciencia ha descubierto que, aunque la tierra consiga zafarse de la espada de Damocles que sería un holocausto nuclear, los mecanismos internos del propio universo podrían extinguirlo algún día. Dicho de otra manera, ha quedado claro que las leyes físicas que rigen el universo podrían tener incorporado un plazo determinado.

La ley de la entropía

Hasta el siglo XIX, todas las leyes conocidas de la física eran simétricas para las dos direcciones del tiempo, para el pasado y para el futuro. Las leyes de la mecánica de Newton explicaban el movimiento de los objetos. Ya hemos observado que esas leyes no distinguen en-

tre el movimiento hacia adelante y el movimiento hacia atrás en el tiempo. En consecuencia, el universo de Newton es un mecanismo que se comporta del mismo modo que la relojería. No existe ninguna razón para que se quede sin cuerda: si fuera parándose el universo, parecería violar la reversibilidad temporal de la mecánica clásica de Newton.

Durante el siglo XIX, surgió un gran interés por el diseño de las máquinas. La Revolución Industrial trajo consigo una búsqueda de la máquina perfecta. Se creía que iría perfeccionándose la eficacia de las máquinas y que éstas acabarían rindiendo más con menos combustible. Todo lo que hacía falta eran mejores inventores.

Un modelo de máquina decimonónica funcionaba a base de vapor. Se llenaba un cilindro de vapor, el cual se calentaba a continuación, provocando así la expansión del cilindro. Conforme se enfriaba el vapor, el cilindro volvía a contraerse. Se utilizaba el movimiento del cilindro para hacer funcionar la maquinaria.

En 1824, el físico francés Sadi Carnot, en su libro *Reflections on the Motive Power of Fire* {*Reflexiones sobre la fuerza motriz del fuego*}, trató el problema de diseñar la máquina perfecta. Carnot estudió una máquina que adquiere fuerza motriz del calor que fluye desde un objeto caliente hasta un objeto frío. Vamos a llamar al objeto caliente, que sirve de fuente térmica, el *depósito caliente.* Al objeto frío, que sirve para recibir el calor de escape, lo llamaremos el *depósito frío.* El calor procedente del depósito caliente se utilizaría como trabajo –por ejemplo, para hacer funcionar un pistón. El calor no utilizado se vería expulsado hacia el depósito frío como calor de escape.

Por ejemplo, en una central que funcionara a base de carbón, se emplearía el carbón incandescente para generar vapor, el cual serviría a su vez de depósito caliente. Se utilizaría el vapor para hacer funcionar una turbina, y el exceso de calor fluiría hacia un depósito

frío (digamos un río) conforme iba enfriándose el vapor. Carnot descubrió que la cantidad de calor que podría convertirse en trabajo utilizable tenía unos límites estrictos. Es decir que se desperdiciaría necesariamente una cierta cantidad de energía térmica. Resultaba imposible eliminar esa porción desperdiciada de energía. Cuanto más pequeña era la diferencia de temperatura entre los depósitos caliente y frío, más energía se desperdiciaría. Ello limitaba severamente la eficacia de las máquinas: siempre se perdería algo de energía bajo la forma de escape. Por muy ingenioso que fuera el inventor, nunca podría diseñar una máquina con una eficacia al 100 por 100.

Treinta años más tarde, el físico Rudolf Clausius incorporó el trabajo de Carnot a una nueva teoría del calor y de la energía. Para formular su teoría, Clausius definió dos cantidades: energía y entropía. Él veía en el calor y el trabajo dos formas distintas de energía. En otras palabras, el calor podía convertirse en trabajo, y el trabajo en calor. La energía nunca se podía ganar o perder; sólo podía convertirse de una forma a otra. Clausius expresó la denominada «primera ley de la termodinámica» de la siguiente manera: «La energía del mundo es constante.»[13]

La entropía es un concepto mucho más sutil que la energía, por lo que se ha entendido a través de los años como algo intangible. No obstante, la entropía puede definirse perfectamente: es una medida de la *incapacidad* de obtener energía (trabajo) utilizable de un proceso determinado. En el caso de una máquina, eso depende de la diferencia de temperatura entre dos depósitos caliente y frío. Cierta fuente podría contener mucha energía *disponible,* pero como mejor puede convertirse en trabajo es si la *entropía* no es demasiado grande.

Por ejemplo, nos es tan útil la energía del sol porque su temperatura es distinta de la de su entorno. Por tanto, constituye una fuente de entropía relativamente baja. Si el entorno del sol fuese de la mis-

ma temperatura que éste, no nos serviría de nada la energía solar por ser demasiado grande la entropía.

El océano alberga unos depósitos enormes de calor, pero no se puede utilizar la mayor parte de esa energía. Haría falta un depósito que estuviese mucho más frío que el océano, hacia el cual el calor fluiría. Un depósito que tuviera la misma temperatura que el océano no serviría, pues la entropía no sería lo suficientemente baja como para permitir la transformación del calor en trabajo.

Esto lo resumió Clausius en la segunda ley de la termodinámica, que formuló así: «La entropía del mundo se esfuerza por alcanzar un máximo.»[13] Dicho de otra manera, la entropía tiende a aumentar, lo cual significa a su vez que la cantidad de energía utilizable suele decrecer al tiempo que sigue aumentando la cantidad de energía inutilizable. Dos cuerpos con una temperatura distinta que estén en contacto el uno con el otro suelen intercambiar calor hasta que ambos tengan la misma temperatura. Cuando la temperatura de los cuerpos es distinta, la entropía es baja. Se puede aprovechar esa diferencia de temperatura para realizar trabajo (por ejemplo, con una máquina de vapor). A medida que se van igualando las temperaturas de los cuerpos, la entropía del sistema aumenta. Por fin, cuando los cuerpos alcanzan la misma temperatura, la entropía ha llegado a un máximo y ya no puede explorarse la diferencia de temperatura entre ambos para producir trabajo. La energía almacenada en los dos cuerpos ya no es utilizable.

El proceso de igualación de temperaturas, relacionado con un aumento de entropía ocurre naturalmente. El proceso contrario, es decir, un proceso según el cual el calor pasa de un objeto frío a uno

caliente, no ocurre naturalmente. Así, los sucesos siguen la dirección de un aumento de entropía. No todos los procesos desembocan en un aumento de entropía, pero cualquier disminución local de en-

tropía debe ir acompañado de un aumento correspondiente de entropía en otra parte.

Esto significa que en el contexto del universo todas las temperaturas acabarían igualándose. En ese punto, la entropía del universo alcanzaría un máximo. De entonces en adelante, no podría realizarse ningún trabajo en todo el cosmos. No podría crearse ninguna máquina para utilizar la energía que quedara en él. Por tanto, no sería posible ningún cambio en ninguna parte del universo. Este estado final se denomina la muerte térmica del universo.

El aumento de entropía proporciona una flecha natural del tiempo. Los procesos que ocurren hacia delante en el tiempo se asocian con un aumento general de entropía. Un proceso aislado en que decreciera la entropía no podría seguir la dirección de la flecha del tiempo hacia adelante. Por consiguiente, se puede relacionar con la flecha del tiempo de la entropía hacia un máximo.

Vamos a ver cómo un aumento de entropía implica que el tiempo tiene una flecha. Estudiemos lo que pasa cuando se mezclan dos tinas de agua, una de las cuales está muy fría al principio y la otra, muy caliente. Esta diferencia enorme de temperatura puede asociarse con un grado bajo de entropía. Si a continuación se mezcla el agua de los dos recipientes, la temperatura de las dos tinas acabará alcanzando el mismo valor. Conforme esto va ocurriendo, la entropía aumenta hasta alcanzar un valor máximo.

Podemos relacionar un aumento de entropía con la flecha del tiempo que apunta hacia adelante. Para comprender por qué, imaginemos como sería. Si invirtiéramos temporalmente el proceso entero. Al inicio veríamos una tina de agua tibia. De repente, el agua se separaría en dos tinas. La temperatura del agua de una de éstas iría subiendo a medida que el calor fluyera hacia el recipiente; el agua de la

otra estaría cada vez más fría. Conforme aumentara la diferencia de temperatura, la entropía disminuiría.

Es evidente que nunca veríamos ocurrir ese proceso de forma natural. El agua jamás se divide en partes más calientes o más frías. Si pudiéramos ver algo parecido, sólo cabría sacar la conclusión de que el tiempo corría hacia atrás. En la naturaleza, observamos sólo el proceso según el cual la entropía aumenta hacia adelante en el tiempo. Por eso se califica a la entropía como una flecha del tiempo.

Otro ejemplo de un aumento de entropía se da cuando se rompe el cristal. El cristal roto posee un mayor grado de entropía que el cristal sin romper; de modo que cuando se rompe el cristal, aumenta la entropía. Sin embargo, si viéramos recomponerse una luna desde un estado roto hasta un estado entero, sacaríamos necesariamente la conclusión de que se pasaba la película al revés. En este caso decrecería la entropía y se diría que el tiempo corría hacia atrás.

Uno podría preguntarse qué tiene que ver el cristal roto con los motores térmicos. Romper el cristal no representa una transferencia de calor de la misma manera que cuando se mezclan tinas de agua caliente y fría. No obstante, sí representa un aumento de entropía en un sentido más amplio de la palabra.

En su sentido más general se puede definir la entropía como una medida de *desorden.* Así, la segunda ley de termodinámica puede expresarse mediante la proposición de que los procesos ocurren en la dirección del creciente desorden. Un proceso natural mediante el cual un sistema aislado se vuelve espontáneamente más ordenado no puede ocurrir, de modo que el desorden del universo tiende a un máximo. En nuestro ejemplo del cristal roto, un estado ordenado (sin romper) se convierte en un estado desordenado (roto). La situación inversa es imposible, pues representaría un movimiento en dirección contraria a la de la flecha del tiempo.

La segunda ley de la termodinámica modificó radicalmente la consideración del tiempo en la física. El tiempo newtoniano es estático; no hay modo de distinguir entre procesos que ocurren antes o después, hacia adelante o hacia atrás en el tiempo. El universo de Newton jamás podría quedarse sin cuerda; todos los planetas seguirían para siempre en sus órbitas. Por tanto, el tiempo newtoniano está íntimamente relacionado con los modelos del universo cíclico de Platón y Aristóteles. La ley de la entropía, en cambio, introduce una dirección preferida para la Hecha del tiempo. El universo ya no puede considerarse estático; al revés, va evolucionando hacia estados de mayor desorden y entropía. Así resulta posible distinguir entre tiempos anteriores y posteriores. Los tiempos posteriores corresponden a un grado alto de entropía. El flujo hacia delante del tiempo se asocia con un creciente desorden. Este es claramente un modelo lineal del tiempo.

Además, la ley de la entropía nos permite imaginar el fin del tiempo: la muerte térmica. Al representarnos el universo tras la muerte térmica, ya no podemos hablar del flujo del tiempo porque no ocurriría ningún proceso natural. El propio tiempo se detendría. Huelga decir que muchos filósofos y científicos del siglo XIX encontraban esta perspectiva de lo más deprimente.

No todos los teóricos han aceptado la necesidad de que el universo acabe con una muerte térmica. Algunos, entre los que hay que destacar a Milne, han sostenido que la segunda ley de la termodinámica no se aplica al universo en su totalidad. Otros, como el físico alemán Boltzmann, han afirmado que el aumento de entropía puede ser un fenómeno que se da exclusivamente en nuestra sección del universo. Según Boltzmann, no se puede hablar de la entropía ni de la segunda ley de la termodinámica a nivel microscópico. A escala atómica, toda la física es totalmente reversible, puesto que las leyes

del movimiento de Newton determinan completamente el movimiento de partículas. Sin embargo, a nivel macroscópico (humano) la entropía puede definirse como una medida estadística del desorden. Para llegar a esta definición, se examinan todas las posibles disposiciones de las moléculas, dada una temperatura o cantidad de energía determinada. Algunas de estas disposiciones son mucho más probables que otras. Así puede definirse la entropía como una medida de la probabilidad de una disposición determinada.

Por ejemplo, si se examinan todas las posibles disposiciones de unos granos de arena, es muy poco probable que una selección al azar de una de ellas sea un castillo de arena. Esta disposición tan improbable correspondería a un estado de entropía baja. Una configuración mucho más verosímil sería un montón amorfo de arena. Se diría que el montón de arena se encontraba en un estado de entropía alta. En otras palabras, existen muchas más maneras de disponer unos granos de arena de un modo informe que con la forma de un castillo de arena, La entropía constituye pues una medida de la *falta de unicidad* de cierta configuración.

Boltzmann argumentó que en algunas zonas del universo la entropía aumentaría y en otras disminuiría. En las partes donde disminuyera, el tiempo fluiría en sentido contrario. La entropía media del universo permanecería aproximadamente constante. Cualquier aumento o disminución de la entropía en una parte del universo podría explicarse por unas fluctuaciones locales de su valor. Por consiguiente, no podría establecerse una flecha del tiempo que fuera válida para el universo entero, ni habría necesariamente una muerte térmica. Sin embargo, Boltzmann no excluía tajantemente esta posibilidad; tan sólo creía innecesaria una muerte térmica.

Para explicar por qué aumenta la entropía en nuestra zona del universo, Boltzmann recurrió a un enfoque que se llama el *principio*

antrópico. Este afirma que las condiciones físicas del universo primitivo, o por lo menos las de nuestra sección del universo primitivo, deben de haber sido de tal forma que permitieran la aparición de la vida inteligente. El razonamiento es el siguiente: Si cierta zona del universo no poseyera esas condiciones, no existiría ningún ser Vivo que observara los fenómenos físicos. La razón por la cual nos encontramos en una región del universo que posee una entropía baja es que sólo en las zonas de entropía baja pueden producirse los procesos físicos y biológicos necesarios para crear vida. En otros lugares del universo, la vida no podría crearse, de modo que no habría observadores inteligentes. Así, según prosigue el razonamiento, estamos aquí en una zona del cosmos con entropía baja porque, si nos encontráramos en otro departamento del universo, no existiríamos como seres inteligentes y, por consiguiente, no nos daríamos cuenta de nuestra condición. No se han ofrecido pruebas experimentales que apoyen ni refuten del todo la hipótesis de Boltzmann, así que ha seguido siendo un asunto algo polémico.

Se han producido muchos intentos de encontrar «boquetes» en la segunda ley de la termodinámica, de los cuales la hipótesis del «demonio de Maxwell» quizá sea el más famoso. Poco después de publicarse los artículos de Clausius, el físico James Clerk Maxwell propuso una manera de invertir la entropía. Él se imaginó a un demonio de proporciones minúsculas que se sentaría en una puerta entre dos recipientes de líquido. Al principio, el contenido de ambos recipientes tendría la misma temperatura, es decir un estado de entropía alta (desorden completo). El demonio pasaría por la criba todas las moléculas del líquido que cruzaran la puerta, abriendo o cerrándola de una forma selectiva. Todas las moléculas de alta velocidad se enviarían a una de las tinas, y todas las de una velocidad menor, a la otra. Poco a poco iría subiendo la temperatura de la tina que contenía las

moléculas de alta velocidad, porque la temperatura está relacionada con la velocidad molecular media. Bajaría la temperatura de la otra tina. De este modo, surgía el orden del desorden y decrecería la entropía, lo cual constituiría una violación de la ley de la entropía.

El fallo del argumento de Maxwell es que el demonio tendría que observar las moléculas del líquido para determinar sus velocidades. Para hacerlo, necesitaría un tipo de linterna en miniatura. La luz de la linterna tendría que proyectarse con precisión para realizar observaciones detalladas, así que la luz empezaría en un estado ordenado (de entropía baja). Después de realizadas las observaciones, la luz estaría esparcida y, por tanto, desordenada. El aumento del desorden de la luz descompensaría con mucho la disminución del desorden de las moléculas. Por consiguiente, la entropía total del sistema aumentaría en vez de decrecer, con el resultado de que no quedaría violada la segunda ley de la termodinámica.

Otro argumento en contra de la segunda ley está presente en la hipótesis de la recurrencia de Poincaré. Según esta conjetura, pueden utilizarse las leyes de Newton para calcular las posiciones y velocidades futuras de todas las partículas del universo. Si el número de partículas es finito, todas las moléculas deberían acabar por volver al mismo estado. (Esto supone que el tamaño del universo es constante, supuesto que ha quedado invalidado por la teoría del Big Bang.) Si todas las partículas volvieran a su posición original, cualquier estado ordenado acabaría convirtiéndose de nuevo en un estado ordenado, incluso después de haberse desordenado en el proceso. Esto violaría la segunda ley, preconizando una teoría cíclica, antes que lineal, del tiempo. Puede que el lector reconozca en este argumento cierta similitud con el que indujo a Nietzsche a proponer su teoría del eterno retorno.

Los inconvenientes principales del razonamiento anterior son los siguientes: en primer lugar, el supuesto de que el tamaño del universo es constante. Si se está expandiendo el universo, las partículas no tienen porqué volver jamás a su posición original. En segundo lugar, aunque las partículas acaben por volver a su posición original, no hay razón alguna para que vuelvan a su velocidad original. Por último, aunque se acepte la posibilidad de semejante repetición, el tiempo necesario para que se produzca es astronómico, mucho más largo que las escalas temporales utilizadas en la cosmología.

La mayoría de los físicos aceptan ahora la validez universal de la segunda ley de la termodinámica. Además, se cree en general que la dirección del aumento de entropía y, por consiguiente, la de la flecha del tiempo, es la misma para todo el universo. Así, con nuestro esquema actual del cosmos, se puede sacar la conclusión de que el universo empezó en un estado de entropía baja y que acabará alcanzando un estado de entropía máxima o muerte térmica. Esto establece una distinción nítida entre los conceptos de «antes» y «después», distinción que no ofrece la mecánica newtoniana.

Flechas del tiempo en la física

El descubrimiento de la ley de la entropía impulsó la búsqueda de otras flechas del tiempo en la física. Parecía extraordinario que, a pequeña escala, el tiempo en la física fuese totalmente reversible, cuando es asimétrico a gran escala. Por tanto, los físicos también han buscado la inversión temporal asimétrica a nivel microscópico. La búsqueda ha dado varios ejemplos en la física de partículas que indican una diferencia entre las direcciones hacia adelante y hacia atrás del tiempo.

Un ejemplo de asimetría temporal se encuentra en la teoría de la radiación. Durante el siglo XIX, un amplio estudio sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos culminó en una teoría extraordinaria, a la vez que completa, del electromagnetismo. Según esta teoría, unas partículas cargadas que se llaman electrones conducen la electricidad. Cuando los electrones oscilan, producen ondas electromagnéticas. Estas ondas pueden asociarse con la radiación lumínica visible e invisible.

Según las leyes del electromagnetismo, no hay diferencia entre un electrón que absorbe la luz y uno que la emite. La radiación podría concebirse como una forma de absorción en la que el tiempo corre a la inversa. La teoría electromagnética, como la mecánica newtoniana, no distingue entre las direcciones hacia adelante y hacia atrás del tiempo. En teoría, la radiación y la absorción deberían ocurrir con la misma probabilidad, pero en la práctica no ocurre semejante cosa. Si un electrón empieza a oscilar, el único resultado posible es la radiación de luz. Es imposible la escena de la inversión temporal. He aquí una asimetría temporal aparente en la física de partículas.

Otra situación en la física subatómica que se ha presentado como argumento a favor del tiempo unidireccional es el caso de la violación de la simetría temporal en algunos tipos de desintegración de kaones. (Un kaon es una partícula subatómica inestable que se descompone en otras partículas subatómicas.) Este descubrimiento, que les valió el premio Nobel a los físicos norteamericanos J. W. Cronin y Val Fitch, surgió de una serie de experimentos realizados a principios de los años sesenta. Descubrieron indirectamente que la inversión temporal en el proceso de desintegración de Kanes ocurre a una velocidad distinta a la del proceso hacia adelante en el tiempo. Esto proporciona un medio de distinguir el «antes» del «después» a escala tanto microscópica como macroscópica. Sin embargo, no se sabe

hasta qué punto se da la asimetría de la inversión temporal en el mundo subatómico.

No está claro qué relación existe entre esas flechas microscópicas del tiempo y la flecha grande asociada con el aumento de la entropía. Este problema ha sido la fuente de una gran controversia, y nadie ha aportado una explicación convincente. Además, es de gran interés determinar la naturaleza de la relación entre esas flechas del tiempo y el concepto intuitivo del flujo temporal. Este último fenómeno suele denominarse la flecha psicológica del tiempo; representa la sensación de que uno está viajando del pasado al futuro. Nadie ha ofrecido una explicación satisfactoria de la relación, si la hay, que pueda existir entre esas flechas.

Por último, hay otra flecha del tiempo con la que tenemos que contar. Se trata de la así llamada flecha cosmológica del tiempo, que apunta en la dirección de la expansión del propio universo. Un modelo auténticamente completo de la naturaleza del tiempo determinaría el origen común de todas estas flechas[14].

El «big bang» y el «big crunch»

En el primer capítulo comentamos el asombroso descubrimiento de que las galaxias distantes del universo están alejándose de la nuestra y aludimos a las así llamadas teorías del *big bang* y del estado estacionario como posibles explicaciones del fenómeno. Debido a los progresos de la cosmología en las últimas décadas, se ha llegado a la conclusión de que el universo ha evolucionado a partir de un objeto-punto y que ha estado, y con toda probabilidad seguirá, expandiéndose hacia afuera. La expansión del universo proporciona otra flecha natural del tiempo: la flecha cosmológica.

El debate entre los partidarios de las dos teorías del universo, la del *big bang* y la del estado estacionario, constituía el núcleo de la investigación cosmológica durante los años cincuenta y principios de los sesenta. Los adeptos del *big bang* sostenían que el universo apareció bajo la forma de una bola incandescente de materia en algún momento determinado del pasado; los defensores del estado estacionario afirmaban con vehemencia que el universo no tuvo principio, y recurrían a otros métodos para explicar la recesión de las galaxias.

En muchos sentidos, esta disputa corría pareja con los debates religiosos y filosóficos que enfrentaban a los partidarios del tiempo cíclico y lineal. Algunos pensadores han encontrado incómoda la idea de que el universo pudiera tener un principio o un fin. A otros, en cambio, les ha horrorizado la perspectiva de que el universo dure eternamente y que los sucesos se repitan.

Cosa curiosa, esto parece ser una continuación de la disputa medieval sobre la naturaleza de Dios. El enfoque griego, que sitúa las actividades divinas en un lugar fuera del mundo natural y en un tiempo ajeno a la experiencia humana, parece encajar mejor con una imagen del estado estacionario del cosmos, en la que no existe ningún momento concreto de creación. Por el contrario, el enfoque lineal cristiano parece ajustarse a la idea de que la creación del universo fue un acontecimiento que tuvo lugar en un momento determinado. Ello admite la posibilidad de que Dios, de una forma u otra, haya establecido las condiciones iniciales del universo al ponerlo en marcha mediante el *big bang.* Hay que reconocer que es ésta una interpretación algo liberal y poco ortodoxa del cristianismo. Sin embargo, a diferencia de su alternativa, la teoría del *big bang* sí proporciona un mecanismo gracias al cual uno puede creer en Dios como creador al tiempo que acepta la ciencia moderna.

Afortunadamente se ha resuelto el debate entre estas dos cosmologías contrarias. Se han producido unas pruebas experimentales claras a favor de la hipótesis del *big bang*. Hoy, casi todos los cosmólogos aceptan la premisa de que el universo tuvo un origen flamígero[15].

Se realizó la verificación experimental de la teoría del *big bang* durante las últimas décadas. En 1964, dos científicos de los laboratorios Bell, Arno Penzias y Robert Wilson, se percataron de algo insólito mientras examinaban una antena parabólica. El artefacto captaba un fondo uniforme de sintonía que, según descubrieron Penzias y Wilson, poseía la misma intensidad en todas las direcciones. Después de eliminar todos los posibles orígenes terrestres y galácticos, los investigadores llegaron a la conclusión de que la sintonía emanaba de la radiación residual del propio *big bang*. Ello explicaría la uniformidad de la señal de fondo, porque puede localizarse el origen de todos los puntos del espacio en la bola de fuego primigenia. Se descubrió, además, que la radiación de fondo tenía casi exactamente la misma longitud de onda calculada por la teoría del *big bang*, lo cual reduciría enormemente la posibilidad de que proviniera de una fuente distinta. El descubrimiento, galardonado con el premio Nobel, sirvió para inclinar el fiel de la balanza del debate cosmológico claramente a favor del modelo del *big bang*.

Existen otras pruebas astrofísicas que parecen apoyar ese punto de vista. La cantidad de helio presente en el universo indica que debe de haberse creado ese elemento en la bola de fuego inicial; el modelo del estado estacionario no consigue explicar la abundancia de helio. Además, unas observaciones recientes de las regiones más lejanas del universo han servido para detectar ciertos objetos primordiales de dimensiones galácticas, y existen pruebas de que se encuentran en una etapa más primitiva de desarrollo evolutivo. Dado

que la luz procedente de ellos tarda tanto en llegar hasta nosotros, podemos dar por sentado que esos cuerpos son las estructuras más antiguas del universo observable. Esto favorece un modelo evolutivo del cosmos y rechaza el enfoque estático del modelo del estado estacionario.

La naturaleza del estado final del universo sigue siendo un tema muy controvertido, principalmente porque todavía no tenemos todas las pruebas a nuestra disposición. Hemos hecho alusión a una alternativa: el modelo oscilante del cosmos, según el cual el universo vuelve a contraerse hasta un punto después de la fase de su expansión inicial. En este esquema el tiempo es cíclico –el universo no tiene ni principio ni fin. La otra posibilidad es que el universo siga expandiéndose para siempre. La relatividad general nos proporciona un medio de determinar si el universo oscilará o no. No obstante, para determinar cual de las dos alternativas es la más probable (según la teoría de Einstein), haría falta conocer la masa de toda la materia del universo. De acuerdo con los cálculos actuales de la cantidad de materia en el universo, lo más probable es que el universo continúe expandiéndose para siempre. No parece haber suficiente masa para provocar un nuevo colapso. Durante los años setenta unas mediciones críticas de esa cantidad fueron realizadas, principalmente por los investigadores J. Richard Gott, James Gunn, David Schramm y Beatrice Tinsley, de la CIT y la Universidad de Texas. Durante los años ochenta, los científicos revisaron el cálculo a raíz de la proposición de que existían nuevas partículas elementales y la denominada materia oscura (invisible). Aún y con todo, las cantidades siguen pareciendo demasiado pequeñas para favorecer un nuevo colapso puesto que la mayoría de las partículas que se postularon para explicar la masa perdida no se han encontrado experimentalmente.

Si uno cree en un modelo del universo oscilante pero todavía relaciona el flujo del tiempo con la expansión de aquél, llega a una conclusión extraña: a saber, que el tiempo correría a la inversa durante la fase de contracción. Hemos comentado que Stephen Hawking ha sido partidario de ese punto de vista. Últimamente, sin embargo, al elaborar una amplia teoría de las relaciones entre las flechas del tiempo, Hawking ha revisado su postura ante ese asunto.

En la *Historia del tiempo,* Hawking propone una teoría de la relación que existe entre lo que él llama las tres flechas fundamentales del tiempo: la termodinámica (aumento de entropía), la psicología y la cosmología16. A su modo de ver, sentimos que pasa el tiempo en una sola dirección porque es la misma dirección en la que la información se almacena. Nuestra memoria va acumulando datos en un solo sentido: del pasado al futuro. La sensación de que pasa el tiempo se debe a un aumento de la información que se almacena en nuestro cerebro. Esto define la flecha psicológica del tiempo.

Hawking hace la siguiente pregunta: ¿Por qué las flechas psicológica y termodinámica del tiempo señalan en la misma dirección? Para que funcione nuestro cuerpo, y por tanto nuestro cerebro, necesitamos comer. Cuando comemos y realizamos el metabolismo de nuestros alimentos, convertimos una energía relativamente ordenada en una energía más desordenada. Este es un proceso que entraña un aumento de entropía y requiere una reserva de energía ordenada. Así, Hawking demuestra que la dirección del aumento de entropía debe ser la misma que la de los procesos vitales. Uno de tales procesos es la acumulación de datos en la memoria. Por ello, Hawking saca la conclusión de que la dirección del aumento de entropía, representada por la flecha termodinámica, debe ser la misma que la dirección del aumento de memoria, indicada por la flecha psicológica.

Una vez establecido un argumento para equiparar las flechas termodinámica y psicológica del tiempo, Hawking se pone a razonar que la dirección del aumento de entropía debe ser la misma que la del tiempo indicada por la expansión del universo. En primer lugar, puede desarrollarse la vida sólo cuando existe en el universo una cantidad relativamente baja de entropía. Cuando hay demasiada entropía, no se dispone de suficiente energía ordenada para que la vida prospere, Así podría esperarse que la vida prosperase sólo durante una fase relativamente temprana del universo, antes de que la aproximación de la muerte térmica haya paralizado la mayoría de los procesos. En el supuesto de que se expanda y luego vuelva a contraerse el universo, esa fase temprana habrá ocurrido durante la etapa de la expansión. Por consiguiente, la dirección de los procesos vitales, que debe apuntar hacia un aumento de entropía, coincide con la flecha cosmológica del universo en expansión.

Hawking llega a la conclusión de que la respuesta a la pregunta, «¿Por qué se encuentra el universo en su fase de expansión?» es «Porque nosotros existimos». Si no fuera por la creación de la vida, que exige una etapa de entropía baja del universo (identificada con la fase de expansión), los observadores humanos no estarían aquí para contarlo. He aquí un ejemplo perfecto del uso del principio antrópico para explicar una ley de la física mediante el hecho de nuestra existencia.

¿Qué ocurriría durante la nueva contracción del universo, si es que tuviera lugar? Evidentemente, la flecha del tiempo relacionada con la expansión del universo se invertiría. Por el contrario, la flecha del tiempo asociada al aumento de entropía seguiría señalando en la misma dirección, si es que alguna vez hubiera existido. (Después de la muerte térmica, no habrá una flecha termodinámica del tiempo, pues la entropía habrá alcanzado su grado máximo. La vida se habrá

extinguido mucho antes de que el universo vuelva a contraerse en un punto.) De este modo, la última fase del universo será un período en que no existen cambios, o muy pocos, conforme la energía utilizable del universo va languideciendo hasta desaparecer del todo.

Roger Penrose, matemático y cosmólogo británico, ha propuesto una explicación alternativa para la ley cosmológica del aumento de entropía17. Penrose relaciona la entropía del universo con factor matemático (llamado el tensor Weyl) utilizado en la teoría de la relatividad general de Einstein. Se requiere que este término matemático sea cero al principio del universo, pero va incrementando su valor a medida que se desarrolla el universo. De esta forma, Penrose argumenta que el aumento de entropía está «incorporado» a la teoría de la gravitación de Einstein. Para Penrose, el argumento del principio antrópico no es suficiente para explicar la segunda ley de la termodinámica ni el flujo del tiempo. En cambio, él espera que el concepto del aumento de entropía pueda incorporarse a un esquema unificado de las leyes de la gravitación.

Hawking y Penrose, junto con la gran mayoría de los físicos modernos, opinan que la segunda ley de la termodinámica es inmutable. Seguirá aumentando la entropía hasta que alcance un máximo. Los cosmólogos actuales afirman que no existe ninguna esperanza de que escapemos a la muerte térmica, del mismo modo que los teólogos cristianos han predicho que el mundo terminaría en el Harmagedón. Hoy en día, tanto los físicos fundamentalistas como los «ortodoxos» coinciden en que, con toda probabilidad, la historia humana llegará un día a su fin. No obstante, donde no están de acuerdo es en lo que concierne a la naturaleza de la atemporalidad que seguirá al fin de la historia.

Una fusión interesante de la termodinámica con la religión se describe en el cuento corto de Isaac Asimov titulado *La última pre-*

gunta. Esta historia cuenta con detalle la muerte térmica del universo y la futilidad de los esfuerzos humanos por eludirla. Al fin, el universo fenece. En este punto, Dios vuelve a crear el mundo mediante una explosión tremebunda al tiempo que proclama «¡Hágase la luz!».

Lo que Asimov parece dar a entender con ello es la posible reconciliación entre los relatos bíblicos de la creación y del Harmagedón por un lado, y las teorías físicas modernas del *big bang* y la muerte térmica por otro. Si bien la intención de Asimov es sólo dar un buen lance imprevisto a una historia de ciencia ficción, su idea de incluir la acción de Dios como componente de la teoría física tiene eco en los escritos de muchos cosmólogos modernos.

Al proclamar que el tiempo tiene principio y fin la física moderna parece dejar un margen para la posibilidad de la intervención divina. En general, se limitaría tal actuación a elegir los parámetros físicos iniciales del universo. En otras palabras, el papel de Dios consiste en especificar la serie de constantes que se requieren para ciertas leyes físicas. Es curioso que la física intente ahora definir las fronteras del poder divino: ¡le corresponde a Dios llenar los huecos de la teoría cosmológica!

Es interesante examinar los conceptos físicos modernos del fin del tiempo. En la jerga cosmológica actual, el fin del universo se denomina *big crunch* (el gran crujido, o implosión). Existen dos interpretaciones posibles de este colapso, y la distinción entre ellas estriba en la pregunta acerca de si el universo *en su totalidad* se contraerá o no en un punto. En ambas interpretaciones, sin embargo, ciertas secciones del universo se colapsarán hasta llegar a un punto; efectivamente, puede que esto haya ocurrido ya.

El mecanismo que provoca la defunción del universo está íntimamente relacionado con la naturaleza de la muerte estelar. Las estre-

llas pueden morir de diversas maneras, según su tamaño y su brillo. La extinción de una estrella se produce cuando ya no puede continuar la reacción nuclear en su interior; dicho de otro modo, cuando la entropía de la estrella ha alcanzado un máximo. La estrella ya no puede utilizar sus reservas energéticas. Cuando ocurre esto, lo más beneficioso en términos energéticos es que la estrella encoja o que explote (nova).

El paso siguiente depende del tamaño de la estrella. Las pequeñas, llamadas enanas blancas, continúan encogiendo al tiempo que emiten energía lumínica. Relucen durante cierto tiempo y, al fin, se extinguen del todo. Lo que queda es una estrella fósil, denominada enana negra, que vaga a través del universo cual reliquia oscura y gélida.

Los soles medianos acaban como estrellas de neutrones. La característica principal de estos cuerpos reside en que cada uno de sus átomos se ha colapsado bajo una enorme presión gravitatoria. Lo que queda es una sustancia extremadamente densa, llamada neutronio compuesta por neutrones fuertemente apretados (partículas subatómicas eléctricamente neutras).

Las estrellas más grandes sufren los destinos más dramáticos. (¡Es éste el caso de Hollywood tanto como del firmamento!) Estas estrellas siguen colapsándose hasta alcanzar una densidad extraordinaria. Por ser tan masivas, su presencia distorsiona la estructura del espacio-tiempo en torno suyo. He aquí una aplicación de la teoría de la relatividad general de Einstein, según la cual la materia cambia la geometría del espacio-tiempo. Estos cuerpos se denominan agujeros negros, debido a que ni siquiera la luz puede escaparse de ellos[18].

El interior de un agujero negro es muy extraño. Según la teoría, existe una región dentro de él donde el espacio y el tiempo invierten sus papeles. En estas regiones, se supone que uno puede desplazarse

libremente a través del tiempo pero no por el espacio (esto es de lo más especulativo). En el mismo centro de un agujero negro se encuentra una anomalía matemática llamada singularidad del espacio-tiempo. Las matemáticas de la teoría predicen la existencia de estos cuerpos, si bien nadie sabe interpretarlos en términos físicos.

Siempre según la teoría, si un objeto tropieza con una singularidad, simplemente desaparece. El espacio y el tiempo sencillamente se desvanecen, destino que predecían los cartógrafos precolombinos para los marineros que llegaran a los confines de la tierra. Ni que decir tiene que la existencia de las singularidades es preocupante para la mayoría de los cosmólogos. Muchos investigadores teóricos, incluso Hawking, están ocupados con la tarea de eliminar semejantes entidades de la teoría de la gravitación.

A la larga, todas las estrellas del universo se transformarán o bien en residuos estelares, o bien en agujeros negros. Se formarán estrellas nuevas, aunque la segunda ley de la termodinámica dicta que la cantidad de combustible utilizable para formarlas vaya menguando. Al fin, no quedará ninguna energía utilizable. Conforme vayan muriendo las estrellas, ya no podrá sobrevivir ninguna forma de vida en los planetas que giran a su alrededor, pues la cantidad de combustible planetaria también está limitada.

Es posible que los agujeros negros engullan las estrellas que se encuentran en sus inmediaciones. Puede ser que, a largo plazo, galaxias enteras se conviertan en estructuras parecidas a los agujeros negros. Estos tienden a unirse y cuando dos de ellos se fusionan, el cuerpo resultante posee una superficie mayor que la de los dos originales.

Se ha formulado una segunda ley de la termodinámica para los agujeros negros. Según Hawking y Bekenstein, el área del horizonte de sucesos de un agujero negro puede asociarse con su entropía. El

horizonte de sucesos es la frontera que separa la región normal del espacio-tiempo de lo anormal. De acuerdo con la ley que afirma que la entropía lucha por alcanzar un grado máximo, el área de la frontera tiende a aumentar.

Hasta hace poco se creía que ni la materia ni la energía podían escapar de un agujero negro, pero las teorías de la gravedad más recientes postulan que la energía se sale lentamente de un agujero negro mediante un proceso denominado *túneles cuánticos19,20.* Al final, se evaporan del todo la materia y la energía en el interior de un agujero negro. Lo que queda se llama una singularidad desnuda –un desgarrón en el tejido del espacio-tiempo.

El estado final del universo, según la teoría actual, no consistirá en más que restos estelares fríos, energía disipada y singularidades desnudas. Si el universo acaba por contraerse de nuevo, se fusionarán todos esos objetos para formar una sola singularidad final. En caso contrario, si continúa la expansión actual del cosmos, esos residuos estelares simplemente se alejarán los unos de los otros, o se verán absorbidos por las singularidades.

Evidentemente, no existe ninguna cláusula de excepción en este cuadro que pudiera permitir la supervivencia humana. Todo lo que se ha creado desde el principio de los tiempos perecería en una muerte térmica de esta envergadura y en el colapso del universo debido al *big crunch.*

El significado del aumento de entropía

Todos los sucesos que acabamos de describir en nuestro relato del fin del universo tardarían aún unos billones de años en ocurrir. De ser así, bien puede preguntarse el lector por su significado hoy.

Se puede hacer una analogía entre la vida de un ser humano y la de la especie humana. En algún momento de la vida de una persona, ésta loma conciencia de que la existencia humana acaba ineludiblemente en la muerte. Una de las maneras que la gente tiene de aceptar su propia mortalidad estriba en el consuelo de saber que la especie sobrevivirá. Hasta este siglo, la ciencia no excluía de forma explícita esta posibilidad.

Actualmente, sin embargo, la ciencia no dispone de ninguna razón para garantizar la supervivencia de la raza humana. Por ende, el hecho de que esté condenada a la extinción constituye un motivo de preocupación aún mayor, y más todavía si no se cree en ningún dios ni en un mundo sobrenatural. Jacques Charon describe los aspectos deprimentes de esa perspectiva en su obra *Modern Man and Mortality* {*El hombre moderno y la mortalidad*}*:*

«Lo realmente angustioso para quienes buscan un sentido y una finalidad "a prueba de muerte" en la vida, sin refugiarse en el "otro" mundo, es que la ciencia confirma de hecho la conclusión de que carece de todo sentido, conclusión a la cual la realidad de la muerte ya había llevado al hombre mucho antes de que la ciencia hubiera hecho vacilar su creencia en la inmortalidad y revelado el lugar insignificante de su morada en el universo.»[21]

Afirma Charon que el descubrimiento de la ley de la entropía y del *big bang* ha tenido un impacto desmoralizadora. Este descubrimiento no sólo proporciona una flecha temporal para el universo: la flecha que sugiere señala hacia un futuro vacío, deprimente y fútil. No debe extrañar a nadie el que Nietzsche, junto con otros muchos pensadores, hayan abrazado la doctrina del eterno retorno, ni que Fred Hoyle y otros cosmólogos hayan defendido un modelo estático –el del estado estacionario– del universo. Es difícil aceptar la idea de que todo tiene su fin.

Es interesante constatar que la ley de la entropía surgió durante un período de crecimiento industrial descomunal y que el concepto de los agujeros negros y de un *big crunch* nació en los albores de la exploración del espacio. En ambos casos, la ciencia ha dado a entender que el poder humano tiene sus límites precisamente cuando parecía que no existía límite alguno. Ya no es posible suponer que inventar maquinaria más eficaz solucionará el problema de unos recursos naturales insuficientes, ni puede defenderse convincentemente la tesis de que la expansión territorial sea una panacea. A la larga, no tenemos adonde ir; incluso la colonización del espacio se ve limitada por la perspectiva de la extinción estelar y galáctica. Debemos hacer frente a lo finito de nuestros propios recursos.

En *Entropy: A New World View* {*Entropía: una nueva visión mundial*}, el economista Jeremy Rifkin afirma que el hombre no ha sabido resolver de modo satisfactorio el problema de las limitaciones implícitas en el aumento de entropía. Rifkin sostiene que la historia de la industrialización se basa en una explotación irreflexiva e irreversible de los recursos naturales. Cuando se agota un recurso determinado, surge una crisis hasta que se encuentre otro que lo sustituya. En la mayoría de los casos, éste es menos eficaz en términos energéticos que el recurso original. De este modo, nuestra sociedad está arrebatando a la tierra todas sus fuentes de combustible utilizables. En vez de actuar de tal forma que disminuya el aumento global de entropía, el caso es que lo vamos acelerando.

Por ejemplo, al pasar primero de andar a la tracción animal, luego al tren, y después al automóvil, la humanidad ha elegido un transporte cada vez menos eficaz y, por tanto, que conduce a un aumento de entropía. Los métodos agrícolas de hoy requieren mucha más energía por cosecha que los de la Edad Media. Las fuentes energéticas se han vuelto más sucias, más costosas y más ineficaces. Cada

vez se necesita más energía para extraer los metales imprescindibles para nuestras industrias.

Rifkin recomienda que se tome conciencia, a escala mundial, de las limitaciones impuestas por la segunda ley de la termodinámica. Propone que si bien no existe una verdadera solución a largo plazo a los problemas provocados por el aumento de entropía, sí podemos intentar ganar una moratoria al conservar con esmero nuestros recursos y al reducir nuestra dependencia de tecnologías ineficaces. Por ejemplo, el sol constituye una fuente de energía que se puede renovar y que no contamina. Una creciente dependencia de la energía solar retrasaría el día en que se agotasen nuestros recursos. Rifkin hace la siguiente observación:

«*En el pasado los estudiosos han equiparado la entropía con la Muerte Térmica definitiva del sistema solar para luego sacar la conclusión de que atañería poco a la vida humana, dado que esa eventualidad sucedería en un futuro tan lejano. Por contraste (uno debería) centrar su atención en la entropía como proceso antes que como estado final.*»[22]

El hombre actual posee unos poderes sin precedentes para controlar su propia duración temporal. Mediante la guerra nuclear o la explotación intensiva del medio ambiente, la Historia podría llegar a su fin el día de mañana. Por el contrario, mediante la conservación y la planificación, podría retrasarse el fin de la civilización durante generaciones incluso, quizá, hasta que se venza el plazo impuesto por la naturaleza.

El símbolo más claro del poder que ejerce la Humanidad sobre el tiempo es, tal vez, el emblema en forma de esfera de reloj de la Unión de Científicos Preocupados. Su minutero está apuntando a unos pocos minutos antes de medianoche y se ajusta cada vez que los acontecimientos mundiales parecen acercarnos o alejarnos del

Harmagedón nuclear (medianoche). Sirve para recordar enérgicamente a la Humanidad el poder que tiene su propio destino.

La caída en desgracia: la vía descendente del tiempo

Desde la Revolución Industrial, la Humanidad ha ido alejándose cada vez más de la tierra y las estaciones. La «vida sencilla», con sus rituales vinculados a los ciclos de la agricultura se ha abandonado en gran medida en casi todo el mundo occidental. Los conceptos tradicionales de renovación y armonía han sido sustituidos por el impulso de la expansión y del desarrollo. En este proceso se ha perdido cierto tipo de inocencia. Por primera vez, la gente se ve obligada a hacer frente a una cultura que cambia rápidamente y en la que se descartan los valores y tradiciones que no se adecúen a los marcos económicos y sociales emergentes. Desprovista de un sentido de continuidad, despojada del consuelo que aporta la certidumbre de que la especie sobrevivirá, la Humanidad ha dado la espalda a un reducto agrario estable para caminar hacia un futuro desconocido de progreso o destrucción. Se ha comido la fruta del árbol de la ciencia; ya que no es posible retroceder.

No se puede pretender que la sociedad pre-industrial haya sido precisamente un paraíso. Sin lugar a dudas, la vida campesina era corta y dura. Y, sin embargo, como señala Eliade, las culturas primitivas concedían un acceso a la inmortalidad que, de una forma u otra, se ha perdido. Mediante la repetición ritual relacionada con los arquetipos celestes, la gente tenía la sensación de estar unida al infinito. El tiempo circular proporcionaba una garantía de continuidad; se creía que a cada catástrofe natural seguiría una época de crecimiento y prosperidad.

El sentido del tiempo ha cambiado tanto en el modelo cosmológico religioso como en el científico. Ya no se mira al universo como estático y de relojería; la «ciudad de hombre» ya que no se considera permanente. Ahora se ve el tiempo dinámico en vez de estático, final en vez de irrelevante.

Desde el judaísmo hasta el cristianismo y el islam, las filosofías religiosas han ido desarrollando un sentido cada vez más agudo de la Historia y de la finalidad. Siguiendo la tradición de San Agustín y de Milton, el reino mundano se considera corrompido y deformado. Según esta visión, no obstante, la historia humana sirve de preparación para el nuevo paraíso que seguirá a la destrucción total del reino secular del hombre. El tiempo lineal cristiano tradicional posee una flecha que apunta hacia la desintegración de la civilización.

La ciencia también ha llegado a la conclusión de que el tiempo tiene flecha. En realidad, existen varias flechas, posiblemente relacionadas, del tiempo. La flecha del aumento de entropía sirve de réplica a la industrialización creciente, recordándonos los límites de nuestros recursos. Ya no podemos esperar que la tecnología facilite una panacea para los problemas que surgen del decrecimiento de las fuentes de combustible. A la larga, la segunda ley de la termodinámica establece un plazo para el universo. Llegará un día en que, debido a la falta de energía utilizable disponible, no serán posibles más cambios. Cuando suceda la muerte térmica, la entropía habrá alcanzado un máximo universal.

La teoría cosmológica nos ofrece otra flecha del tiempo: el crecimiento del propio universo. Según el modelo actual, éste ha ido expandiéndose hacia afuera a partir de un punto inicial. Podría acabar por contraerse de nuevo o, por el contrario continuar su expansión para siempre. En ambos casos, la mayor parte del universo estará compuesta por agujeros negros y estrellas consumidas.

En este capítulo hemos explorado muchos aspectos de lo que podría denominarse la vía descendente del tiempo. Esto es en esencia el punto de vista de que el universo no es estático o renovable, sino que en realidad se está quedando sin cuerda. Como hemos visto, existen bastantes pruebas a favor de esta hipótesis, tanto en el mundo de la ciencia como en el de los asuntos humanos.

En el próximo capítulo estudiaremos un punto de vista diferente y más esperanzador: la teoría de que el mundo está evolucionando hacia el orden y no hacia el caos. Es lo que se puede llamar el modelo del tiempo de la vía ascendente.

Referencias

1. Jorge Luis Borges: «The Immortal», en *Labyrinths,* New Directions Publishers, Nueva York, 1962.

2. Ruth Reyna: «Metaphysics of Time in Indian Philosophy», en Jiri Zeman (ed.), *Time in Science and Philosophy,* Elsevier Publishers, Nueva York, 1971.

3. Mircea Eliade: Cosmos and History: The Myth of the Eternal Return, Harper and Row, Nueva York, 1959.

4. Louis Gardet: *Cultures and Time,* The Unesco Press, Paris, 1976.

5. Geza Szamosi: *The Twin Dimensions,* McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

6. Jorge Luis Borges: «The Theologians», en *Labyrinths,* New Directions Publishers, Nueva York, 1962.

7. John Milton: *Paradise Lost,* The Odyssey Press, Nueva York, 1962.

8. Mircea Eliade: *Cosmos and History,* op. cit.

9. Ibid.

10. James Joyce: *Finnegan's Wake,* The Viking Press, Nueva York, 1947.

11. Oswald Spengler: *Decline of the West,* G. Allen and Unwin, Londres, 1928.

12. Hermann Hesse: *Magister Ludi: The Glass Bead Game,* Bantam Books, Nueva York, 1969.

13. S. Carrot y R. Clausius: en E. Mendoge (ed.), Reflections on the Motive Power of Fire and Other Papers on the Second Law of Thermodynamics, Dover, Nueva York, 1960.

14. Richard Morris: *Time's Arrows,* Simon and Schuster, Nueva York, 1984.

15. Eduard R. Harrison: *Cosmology: The Science of the Universe,* Cambridge University Press, Nueva York, 1981.

16. S. W. Hawking: *A Brief History of Time,* Bantam Books, Nueva York, 1988.

17. Roger Penrose: «Time: Assymetry and Quantum Gravity», en Isham, Penrose, and Sciama (eds.), *Quantum Gravity 2,* Oxford University Press, Nueva York, 1981.

18. John G. Taylor: *Black Holes,* Aron, Nueva York, 1973.

19. S. W. Hawking: *Commun. Math. Phys.* 43:199.

20. J. D. Bekenstein: *Phys. Rev.,* D7:2333.

21. Jacques Charon: *Modern Man and Mortality,* Macmillan Publishing Co., Nueva York, 1964.

22. Jeremy Rifkin: *Entropy: A New World View,* Bantam Books, Nueva York, 1980.

3

La vía ascendente

El concepto del progreso

De todos los modelos de la dirección del tiempo, el más reciente es el concepto del progreso. La visión circular del tiempo se remonta a los orígenes de la civilización agrícola y puede afirmarse que la idea de la degeneración se concibió al menos en tiempos tan lejanos como los de los primeros escritos filosóficos cristianos. El punto de vista del tiempo progresivo tiene, sin embargo, sólo unos siglos.

El concepto del progreso ofrece una flecha nítida del tiempo lineal. Los partidarios del ideal progresivo sostienen que el mundo va evolucionando hacia un estado de mayor orden y complejidad. En contraste con la idea de la eterna repetición, el modelo temporal de la vía ascendente representa una progresión única de acontecimientos que forman una cadena claramente identificable. A diferencia de la teoría de la degeneración hacia el caos, se cree que esa sucesión de acontecimientos va aproximándose a una armonía y una organización crecientes.

Las primeras formulaciones del modelo progresivo del tiempo surgieron en el siglo XVII, pero el modelo no se puso de relieve hasta

el siglo XIX. Dos siglos largos de desarrollo filosófico y una plétora de cambios sociales y económicos mediaron entre la introducción de la idea del progreso y su aceptación general.

Uno podría preguntarse por qué la teoría del progreso es un fenómeno tan reciente. ¿Por qué no se arraigó esta idea en la época clásica griega o durante la Edad Media? La respuesta entraña varios temas económicos, sociales y filosóficos todos relacionados entre sí. Durante la época griega resultaba prácticamente imposible defender el concepto de que la sociedad podía cambiar a mejor. La razón estribaba en la separación tajante que los griegos se imaginaban que existía entre el reino mundano y el celestial. Se consideraba que los asuntos humanos, por su propia naturaleza, no eran más que reflejos imperfectos de las actividades sagradas de los dioses. Este punto de vista está expresado inequívocamente en los escritos de Platón, que estimaba frágil y defectuosa la sociedad humana.

Incluso los así llamados escritos utópicos de Platón delatan sus prejuicios contra la posibilidad del progreso humano. Él situó su república en un período ilustrado de la Historia que había desaparecido mucho antes. Además, fue inestable; degeneró en unas formas de gobierno menos ilustradas y más déspotas. Esta visión coincide con el concepto de Platón del tiempo cíclico. Para él, la sociedad empieza por una edad de oro, atraviesa una serie de épocas de degradación para culminar en un período de decadencia. Después, una sociedad nueva con su correspondiente edad de oro renace de las cenizas de la antigua. Este ciclo ilustra la ingravidez de la civilización terrenal. La realidad se encuentra únicamente en el mundo de los dioses. Una barrera infranqueable separa la esfera mundana de la celestial.

Se tenía por pecado el intento de perfeccionar la sociedad humana mediante los avances científicos, pues en cierto sentido parecía un robo de los secretos divinos, como se ve en el mito del semidiós Pro-

meteo. Este trajo a la tierra el secreto del fuego, que arrebató a los dioses, por lo cual fue condenado al castigo eterno. Se suponía que todo intento de penetrar en los misterios celestiales haría caer sobre cualquier curioso una condena parecida.

Evidentemente, esta animadversión hacia la investigación científica contribuyó de forma considerable a desalentar cualquier idea de progreso que pudieran entretener los griegos. Ellos no se podían imaginar ningún cambio significativo de su sociedad que se debiese a la innovación tecnológica o científica. Por tanto, resultaba de lo más natural que considerasen estático el mundo al imaginarse que el tiempo era cíclico. El tiempo cíclico constituye un medio idóneo para representar una sociedad que no evoluciona.

Esto no quiere decir que la sociedad griega repudiase por completo la ciencia. El científico más destacado de la era griega fue Aristóteles, un discípulo de Platón. Aristóteles realizó unos cuantos trabajos científicos, rompiendo así, en cierto sentido, el tabú que rodeaba al estudio organizado de la naturaleza. Aún y con todo, no creía en el progreso humano. Como ya hemos comentado, Aristóteles, como Platón, favorecía el concepto del tiempo circular que predominaba entre los griegos. Lo irónico es que los escritos de Aristóteles, revolucionarios en su tiempo, llegaron a desempeñar un papel reaccionario en los años que siguieron a la caída de la civilización griega. Durante la Edad Media, el pensamiento aristotélico ejercía una influencia tan aplastante que inhibía cualquier esfuerzo por librarse de ella. En consecuencia, el milenio que transcurrió hasta el siglo XVII contenía muy poco de lo que pudiera llamarse experimentación científica, lo cual contribuyó en gran medida a quitar importancia a la idea del desarrollo humano.

Otro factor que impedía el florecimiento de la idea del progreso en la Edad Media era la influencia de San Agustín. Aún cuando de-

fendiera una forma de tiempo lineal, Agustín intuía un fin catastrófico de la civilización en el cual el mundo caerá bajo el dominio sumamente maligno de Anticristo. Según Agustín, por tanto, el concepto del progreso no cabe dentro del marco del propio tiempo. Sólo después del fin de los tiempos se recuperará el paraíso.

Durante el medievo, la interpretación cristiana ortodoxa de San Agustín, dominaba la filosofía religiosa, mientras la filosofía secular y la ciencia se dedicaban a analizar las obras de Aristóteles. Se tachaba de herejía toda desviación de esas escuelas de pensamiento. Por ello, según señala el eminente filósofo de la historia J. B. Bury, el concepto del progreso quedó suprimido hasta el Renacimiento1. A fin de cuentas, apenas podía defenderse la tesis de que el Hombre era capaz de levantarse por sus propios medios cuando la ortodoxia imperante afirmaba que el ser humano era corrompido y malvado por su propia naturaleza. ¡Tanto más era así cuanto que el punto de vista ortodoxo se hacía respetar prodigando sentencias de muerte a los herejes!

Durante el Renacimiento, empezaba a tolerarse paulatinamente la disconformidad. Florecía la creatividad en el arte, la música y la literatura, y crecía la actividad científica. Conforme iba declinado el imperio de las ortodoxias medievales, nuevas ideas filosóficas conseguían aflorar. Fue en ese ambiente donde surgió por primera vez el concepto del progreso.

Esta idea germinó gracias al fuerte interés que se mostró por la exploración y la actividad mercantil durante los siglos XVI y XVII. El antiguo orden, a saber, la Iglesia y la nobleza, dependía para su supervivencia de una estructura social relativamente estable. La clase mercantil, por el contrario, necesitaba cambios rápidos y expansión. Como era natural, le atraía la idea de la expansión, del desarrollo y del progreso.

Uno de los primeros filósofos en suscribir la visión progresiva de la sociedad humana fue el inglés, Sir Francis Bacon2. Nacido en Londres en el año 1561, era un hombre extraordinariamente polifacético cuyo genio filosófico sólo era comparable a su enorme éxito político. A los 22 años, salió elegido para el parlamento. En poco tiempo Bacon alcanzó el cargo venerable de Lord Canciller de Inglaterra al tiempo que escribía ensayos muy influyentes sobre la naturaleza de la investigación científica. Esta mezcla –su estilo literario convincente y su renombre político– le ayudó a romper la inercia científica de la Edad Media.

Con cierta falta de modestia, Bacon se creía un segundo Aristóteles y se propuso la meta de superar los planteamientos eruditos de éste. Su obra más importante sobre la organización científica, *Novum Organum*, publicada en 1620, ofrecía un enfoque radicalmente nuevo en la investigación de la naturaleza. Recomendado que se dejara de repetir dogmáticamente las conclusiones aristotélicas, Bacon propuso que se analizaran a fondo los fenómenos naturales mediante la recopilación de datos y la búsqueda de paradigmas. Era partidario de la creación de organizaciones científicas a escala nacional e internacional subvencionadas por el Estado.

Bacon no creía en la investigación filosófica por sí sola. Para él, la finalidad de la ciencia consistía en mejorar el destino humano –en proporcionar el máximo bienestar para todos. En la medida en que vayan acumulándose los conocimientos, la sociedad humana progresaría. Aunque llegaría sin duda el Harmagedón dentro de unos siglos, Bacon creía que el sino de la Humanidad no tenía por qué empeorar antes de esa fecha.

Bacon era un cristiano creyente y no era su intención poner en tela de juicio la autoridad de los Evangelios. No obstante, su actitud ante los últimos días del Hombre en la tierra resultaba bastante radi-

cal para su época. No ponía en duda los conceptos cristianos del segundo advenimiento o del fin del tiempo, pero sí cuestionaba la idea de que la sociedad debiera recaer en un estado de decadencia antes del Harmagedón. Bacon imaginaba una época de crecimiento y prosperidad, un tiempo en que la Humanidad llegara a dominar la naturaleza antes de que terminara la vida sobre la tierra. Estas interpretaciones contrastaban abruptamente con el planteamiento tradicional de San Agustín, pues éste había insistido en que la sociedad no era capaz de avanzar por sus propios medios.

Bacon también refutó tajantemente el concepto griego del eterno retorno. Censuró la idea de que a la ventura le debe seguir forzosamente la desventura por ser un concepto que había provocado una desesperanza gratuita. La única razón por la cual el progreso no había sido continuo era que la superstición y los prejuicios habían frenado los logros humanos. Una vez orientada la Humanidad por pensadores ilustrados, el progreso sería irreversible. La última obra de Bacon, escrita poco antes de su muerte en 1626, fue una fantasía utópica titulada *New Atlantis* {*La Nueva Atlántida*}. En ella describió una sociedad gobernada por científicos por el bien material de todos los ciudadanos. La Humanidad había conseguido explotar la naturaleza para proporcionar el bienestar general.

Los ensayos de Bacon influyeron profundamente en la forma en que la sociedad percibía el tiempo y la naturaleza. Por primera vez, se propuso la teoría de que el Hombre podía dominar la naturaleza, teoría que sustituyó a la idea de que el destino humano debe ser determinado por unas fuerzas naturales incontrolables. Así, un enfoque optimista del tiempo fue penetrando poco a poco en la conciencia pública.

Durante los siglos XVII y XVIII, empezaron a proliferar los libros que abogaban por una visión progresista. En 1627, George Hakewell,

teólogo inglés, publicó un manuscrito que atacó de frente la idea de que la naturaleza estaba agonizando y la Humanidad, degenerando. Argumentó que el cristianismo había conducido al progreso social y que el Hombre había avanzado continuamente desde los tiempos paganos. No se detendría ese avance hasta el fin del tiempo, momento en que el mundo se vería repentinamente consumido por el fuego.

El lector observará que Hakewell defendía un modelo del tiempo de vía ascendente. El sostenía que la sociedad iría progresando hasta que la mano de Dios detuviera el propio tiempo. Según Hakewell, no existe relación alguna entre el progreso de la Humanidad y el fin del mundo.

A finales del siglo XVII, el optimismo ya se había vuelto bastante atractivo para los pensadores europeos. El filósofo Leibnitz afirmó que el universo debe estar encaminándose hacia un orden perfecto. Había que buscar la razón en la perfección de su creador. ¿Cómo podría ser que un Dios omnipotente creara algo menos que un universo que tendiera a la perfección?

El satírico francés Voltaire ridiculizó esa actitud en *Candide*[3], sin embargo, él consideraba inevitable el progreso humano. A diferencia de Hakewell y Leibnitz, Voltaire razonaba que se producían cambios progresivos, ¡a pesar del cristianismo! Sin la corrupción de la Iglesia y de los funcionarios, Voltaire imaginó una sociedad que avanzaría a pasos agigantados.

Turgot, coetáneo y compatriota de Voltaire, dio un paso más que sus antecesores al desarrollar una teoría social del progreso humano. En su manuscrito titulado «*Discourses on Universal History*» {*Discursos sobre la Historia universal*}, buscó las causas del progreso. Por entonces (1750), la mayoría de los pensadores ya no consideraban la providencia divina un factor significativo en la historia humana. Estando así las cosas, Turgot buscó lo que ahora llamaríamos unos de-

terminantes psicológicos y sociológicos. Dichos factores incluían pasiones, ambiciones y dones naturales así como condiciones étnicas y geográficas.

Turgot no daba por sentado que los valores morales superiores como la razón y la justicia desempeñaran un papel destacado a la hora de forjar el destino humano. En realidad, sostenía que las guerras, las revoluciones y la explotación constituían factores importantes en la remodelación de la escena política. Llegó a la conclusión de que, a pesar de la estupidez y la codicia humana, se había producido una tendencia irreversible hacia el progreso social.

Turgot dividió el desarrollo intelectual humano en tres períodos. Según su esquema, durante la primera etapa los fenómenos naturales se atribuyen a causas sobrenaturales. A esta etapa le sigue una época en que las leyendas de los dioses quedan desacreditadas pero en la que todavía no se ha desarrollado la ciencia. Por tanto, se recurre a abstracciones para explicar los acontecimientos naturales. La última fase es la edad de la ciencia y la razón.

A principios del siglo XIX, el concepto del progreso ya se había convertido en una parte integrante de la mayoría de los sistemas filosóficos. Las revoluciones francesa y norteamericana prepararon el terreno para cambios radicales en la estructura social de todo el mundo occidental. Mientras el crecimiento industrial cambió de un modo drástico la estructura económica de Europa y Norteamérica. Los descubrimientos científicos reducían el papel aparente de la intervención divina en la naturaleza. Todos estos cambios anunciaron un espíritu nuevo de innovación y crecimiento.

Los filósofos de la religión buscaron formas de incorporar los conceptos espirituales a una interpretación progresista y científicamente válida de la Historia. En la teología cristiana se descartó casi por completo la idea agustiniana del retroceso social. En su lugar

surgió un punto de vista progresivo en que se creía que el progreso humano reflejaba un principio divino de perfeccionamiento, movimiento en que la filosofía de Leibnitz desempeñaba un papel influyente. Sin lugar a dudas, el más destacado filósofo cristiano de la Historia durante el siglo XIX fue el pensador alemán Hegel, que vio en la Historia la revelación gradual del espíritu de Dios en la tierra[4]. Cada etapa del desarrollo político coincidía con un desarrollo espiritual correspondiente. Este progreso se originó en Oriente, se desplazó hacia el oeste, a la India, a Grecia y a Roma y, por último, al estado prusiano de la época de Hegel. Por increíble que pueda parecer hoy en día, la monarquía prusiana decimonónica representaba para Hegel el culmen del desarrollo político y espiritual humano. No era posible ni necesario más progreso. El espíritu de Dios se había realizado en la tierra por fin bajo la forma de cultura y la moralidad germánica.

Resultó que los filósofos espirituales del progreso no tuvieron un papel directo ni substancial en la formación de la cultura política decimonónica. La economía y no la religión se había convertido en la fuerza social dominante. Por ello, el pensamiento hegeliano era importante tan sólo en la medida en que se adaptaba a las filosofías basadas en el materialismo, pues éste había llegado a constituir la base de la mayoría de las teorías decimonónicas del progreso.

Progreso y materialismo

Durante la Revolución Industrial, el concepto de progreso llegó a asociarse con un aumento de prosperidad para todos. Se creía que la ciencia y la tecnología conducirían a una abundancia de bienes materiales para cada ciudadano. Era sólo, una cuestión de tiempo para que el bienestar y la felicidad fueran derechos de nacimiento.

En fuerte contraste con esa esperanza, la situación económica en gran parte de Europa occidental era desoladora. Miles de personas abandonaron sus granjas por las ciudades para encontrarse en un entorno empobrecido. En la Inglaterra de los siglos XVIII y XIX, la mano de obra infantil era bastante corriente. Como medida «progresista» para limpiar las calles de mendigos, se establecieron asilos para los pobres. Se llenaron las fábricas de indigentes que trabajaban más de doce horas diarias a cambio de un salario mísero. Aumentaron las diferencias entre las clases sociales, y la gran mayoría de la población llevaba una vida sumida en la más absoluta desesperación. A cualquier testigo de esa situación le hubiera parecido más apropiado el modelo del tiempo de la vía descendente. ¿Cómo se podría hablar del progreso humano a la vista de semejante miseria para la mayoría de la gente?

Hace falta poseer un don especial para hallar orden en medio del caos. Sólo la gente con cierta previsión e imaginación sabe dar ese salto de fe. Adam Smith, el padre de la economía moderna, pertenecía a esa especie tan escasa. Smith nació en Escocia en 1723. A la edad de 28, ocupó la cátedra de Lógica en la Universidad de Glasgow. Se hizo pronto una reputación por sus estudios sobre la filosofía moral. Interesándose sobre todo por el tema del egoísmo, Smith analizó la manera en la que se puede superar el interés propio del ser humano mediante la objetividad y la imparcialidad. Su libro al respecto *The Theory of Moral Sentiments* {*La teoría de los sentimientos morales*} atrajo mucho la atención en toda Europa.

En 1776, el año de la Declaración de la Independencia de las Colonias Norteamericanas, Smith produjo su obra maestra, *The Wealth of Nations* {*La riqueza de las naciones*}. De este libro se ha dicho que es «la efusión no sólo de un cerebro privilegiado, sino de toda una época». En esta obra tan influyente, Smith revela un método mediante el

cual el orden económico puede surgir del caos. Señala un medio por el cual una supuesta mano invisible puede guiar a la sociedad hacia la prosperidad y el beneficio mutuo a pesar de lo mezquino y de lo miope de los motivos individuales. Su meta, en el sentido más amplio, es perfilar la manera en que puede seguir creciendo de forma indefinida la riqueza de una nación, dada la naturaleza de la condición humana.

Smith razona que la competencia sin restricciones y el libre comercio llevarán de un modo natural a la acumulación de riqueza. El interés propio del individuo sirve de guía para que los fabricantes produzcan los bienes que desea el público. Además, los precios de esos productos se mantienen a un nivel razonable por el simple hecho de que, si los precios son demasiado altos, puede intervenir otro fabricante que produzca los bienes a precios más bajos. En vista de que la especialización conduce a una eficacia y unos beneficios mayores, Smith discierne una tendencia general hacia la división del trabajo. Predice, por último, que si no se le pone trabas el mecanismo desembocará en un incremento de producción, riqueza, y prosperidad social sin la necesidad de una estructura rectora.

Smith descubrió un método según el cual el azar puede conducir al orden a un nivel económico. Surge el progreso a pesar de la aparente confusión social. Como veremos, existe una analogía entre este tipo de formulación y el de las teorías físicas de la turbulencia. En cada caso, una estructura a gran escala surge del caos local. En palabras de Robert Heilbroner, *The Wealth of Nations* tenía sus propias leyes del movimiento... El mundo de Adam Smith se dirigía lenta, suave y más o menos inevitablemente hacia el Walhalla[5].»

Se han encontrado muchos fallos en el análisis de Smith. Por ejemplo, el capitalismo moderno es demasiado complicado como para ajustarse a sus argumentos. La Gran Depresión y las numerosas

vicisitudes del ciclo de los negocios han convencido eficazmente a muchos de la necesidad de unos planteamientos más sofisticados. Incluso en los tiempos de Smith, se encontraron argumentos para poner en duda la teoría de que el progreso económico es irreversible.

En 1798, el vicario Thomas Malthus descubrió uno de los inconvenientes más destacados del esquema de Smith. Con la profecía patibularia expresada en su tratado «*An Essay on the Principle of Population as It Affects the Future Improvement of Society*»* {*Ensayo sobre el principio de la población en la medida en que afecta al progreso social futuro*}, Malthus defraudó en solitario las esperanzas de muchos nuevos conversos a la idea del progreso. Su tesis sencilla sirvió de argumento sustancial a favor del modelo del tiempo de la vía descendente –por lo menos a escala humana– y precedió a la ley de la entropía y a las lúgubres previsiones de Ehrlich y Rifkin.

¿Cuál es, precisamente, este argumento tan abrumador contra el progreso sostenido? Malthus demuestra claramente que el crecimiento económico no puede sostenerse de forma indefinida. El problema reside en que el crecimiento de la raza humana da crecimiento que exige el desarrollo de nuevos recursos para sustentar este aumento demográfico constante. Muy sencillamente, la población crece de forma geométrica (1, 2, 4, 8, 16, ...) mientras el desarrollo de los recursos alimenticios y de la tierra aumenta en progresión aritmética (1, 2, 3, 4, ...). Llega un momento en que ya no se puede satisfacer la necesidad de alimentos y tierra, puesto que la población crece a un ritmo mucho más rápido.

No se puede hacer frente a esta situación mediante una filosofía económica de *laissez-faire*. La única solución posible es la de la planificación demográfica. Si bien hay quienes podrían sostener que la «mano invisible» sugerida por Smith pudiera conducir a la moderación, no está nada claro que esto ocurriera automáticamente. Lo cier-

to es que la idea del hambre masiva como freno del crecimiento no es una perspectiva agradable. Una solución mucho más humanitaria parece ser la de la acción preventiva para controlar el crecimiento.

Durante el siglo XIX, unos cuantos visionarios propusieron una serie de modelos muy organizados de la sociedad ideal. La planificación rigurosa sustituyó al *laissez-faire* como modelo preferido del progreso. Al contrario de Smith, muchos opinaban que el *laissez-faire* desembocaría en la anarquía económica, el caos social y la miseria de las masas. Los socialistas utópicos, unos pensadores en la vanguardia del pensamiento progresista, elaboraron esquemas para producir la igualdad social, un aumento de bienestar y el control demográfico. En vista de que favorecían la visión optimista, según la cual el mundo mejoraría inevitablemente, tuvieron un papel importante a la hora de fomentar la idea del modelo del tiempo de la vía ascendente.

Robert Owen, por ejemplo, creía que un cambio de la estructura social traería el paraíso a la tierra. Este industrial galés se labró una reputación internacional por diseñar una comunidad modelo en New Lanark, cerca de Glasgow, donde los trabajadores podrían vivir en armonía. Al comprar varios molinos viejos, Owen aspiraba a ser el industrial ejemplar. Sus trabajadores vivían en casas grandes y limpias, y trabajaban horas reducidas en condiciones favorables.

Siguiendo con su experimento, Owen se propuso establecer «aldeas de cooperación» en todo el mundo. En dichas aldeas, de 800 a 1.200 personas vivirían en comuna, compartiendo cocinas, salas de estar y refectorios. Dentro de estas comunidades, se podrían proporcionar trabajos decentes para todos, acabando así con la pobreza de un modo eficaz. Se podría dar a los niños una educación adecuada porque no existiría la necesidad de mano de obra infantil.

El experimento social de Owen tuvo poco éxito. Su aldea de cooperación norteamericana *New Harmony* (nueva armonía) duró

poco y resultó intrascendente. No obstante, las ideas de Owen ejercieron una profunda influencia en el movimiento obrero británico. Los trabajadores empezaron a apoyar la idea de que podrían regir su propio destino, creando así un paraíso obrero. Era posible que la innovación científica condujera a un horario de trabajo reducido a condiciones más seguras

y a la propiedad conjunta de los medios de producción. En aquella época se crearon en Gran Bretaña los primeros sindicatos y cooperativas de consumidores, inspirándose en la visión de Owen. En 1833, se fundó el Gran Sindicato Nacional Consolidado en un intento de organizar la clase obrera inglesa. Al mismo tiempo, los pioneros de Rochdale crearon la primera organización encargada de representar los intereses de los consumidores. Estas sociedades fomentaron el concepto de cooperativas de trabajadores y consumidores.

En Francia, entre tanto, los socialistas utópicos pintaban sus propios cuadros de la sociedad perfecta. El conde Claude Henri de Saint-Simon habló del deplorable despilfarro que se permitía la clase ociosa. El defendió un principio según el cual debería exigirse que todos los ciudadanos realizaran aproximadamente la misma cantidad de trabajo. El gobierno debería organizarse siguiendo directivas económicas con el fin de promover la igualdad social. En su obra esbozó la manera en que se realizaría esta sociedad, pero no la perfiló con detalle.

Charles Fourier, en cambio, ideó un programa minucioso para la reestructuración de la sociedad. Desafortunadamente, la mayoría de sus ideas rayaban en la fantasía. Imaginaba, por ejemplo, que los mares se convertirían en limonada y que aparecerían en el cielo seis lunas cuando amaneciera el futuro paraíso. Así y todo, Fourier ejercía una influencia profunda sobre el movimiento utópico por sus ideas más convencionales. La sociedad iba evolucionando, según pensaba,

hacia niveles de organización cada vez más altos. A la larga, todo el mundo estaría organizado en estructuras sociales llamadas falanges, lo cual, traería prosperidad e igualdad.

No todos los filósofos franceses decimonónicos partidarios del progreso entretenían unas ideas tan abstractas de la armonía social. Alexis de Tocqueville encontró su ideal en los recién fundados Estados Unidos de América. El veía en América una sociedad donde las diferencias de clase habían quedado eliminadas en gran medida y donde florecía la democracia. Europa, junto con el resto del mundo, seguirían el mismo camino.

La literatura utópica gozaba de gran popularidad durante el siglo XIX. Desde Owen y Fourier hasta H. G. Wells y Edward Bellany, los escritores miraban más allá de la dureza y la mugre de la vida de la edad industrial hacia un nuevo y reluciente futuro de orden y opulencia para todos. Pocos creían que las circunstancias de la época pudieran durar para siempre.

El movimiento utópico del siglo pasado difería drásticamente del concepto de la edad de oro en que creían los griegos. Platón había postulado que cada ciclo de la Historia empieza por una edad de oro construida por los dioses. La literatura utópica moderna, en cambio, imagina una sociedad perfecta creada por el mismo Hombre. Puede asociarse, por tanto, con un modelo temporal de vía ascendente en vez de cíclico. Según comentó Bury, en contraste con el mito de una edad de oro, la utopía representa «... el esfuerzo del Hombre por descubrir con imaginación lo que ocurre o pudiera ocurrir, cuando los anhelos primitivos encarnados en el mito se enfrentan con el principio de la realidad. Al realizar ese esfuerzo, el Hombre ya no sueña sólo con un estado divino de alguna época lejana; asume el papel del propio creador». Por otra parte, «una característica de la Edad de

Oro... es que existe fuera de la Historia, normalmente antes de que ésta comience»[6].

Tanto los socialistas utópicos como los capitalistas del *laissez-faire* buscaban un principio organizador –un medio según el cual las condiciones sociales asegurarían una marcha gradual hacia el progreso. Los socialistas identificaban ese principio con un deseo de cooperación y armonía social; los seguidores de Adam Smíth argumentaban con igual vehemencia que la solución pasa por la competencia sin trabas. Los dos grupos tenían actitudes radicalmente distintas ante la naturaleza humana. Por supuesto, también existían otros puntos de vista. La filosofía política del economista alemán Karl Marx unió la visión igualitaria de los socialistas al pragmatismo de los partidarios del capitalismo del *laissez-faire.*

En la Alemania del siglo XIX, lo que más influía en la discusión filosófica era la obra de Hegel. Era natural, pues, que el pensamiento hegeliano tuviera tanta influencia en los escritos de los pensadores políticos alemanes, sobre todo de Karl Marx. Mientras estaba en las universidades de Bonn y Berlín, Marx meditó el concepto del cambio constante que Hegel había denominado dialéctica. A Marx le fascinaba la idea de descubrir la finalidad de la Historia. Sin embargo, a diferencia de Hegel, era ateo y socialista. Por consiguiente, su interpretación del sentido del cambio histórico nada tenía que ver con la de su antecesor filosófico.

Marx sugirió el concepto del materialismo dialéctico: el cambio dialéctico al estilo de Hegel, pero con una base material antes que espiritual. Dicho de otro modo, en el esquema marxista es la economía y no la espiritualidad la realización de la voluntad de Dios sobre la tierra lo que constituye la fuerza motriz de la Historia. Según el materialismo dialéctico, los medios de producción de una sociedad determinada proporcionan el marco para la estructura de dicha socie-

dad. Por ejemplo, la esclavitud constituía el mecanismo productivo de la civilización romana, mientras la tecnología industrial constituía la base material del capitalismo y de la democracia parlamentaria europea. Para poder realizar previsiones históricas, hay que comprender los mecanismos económicos subyacentes que producen el cambio.

Para Hegel, la monarquía prusiana representa la culminación de la Historia; Marx no estaba de acuerdo. Él creía que el gobierno alemán y su orden social concomitante distaban mucho de ser estables. En su obra, describió minuciosamente los mecanismos subyacentes que, a su modo de ver, conducirían al cambio revolucionario en todo el mundo. Marx poseía el don de resolver argumentos sobre abstracciones filosóficas oscuras con la misma habilidad con la que incitaba a la acción revolucionaria. En algunos de sus escritos, hace declaraciones demasiado generales destinadas a reunir a los obreros. En otras obras parece obsesionado con detalles intrascendentes que interesan sólo a los especialistas. Por ello cabe extraer, muchas conclusiones contradictorias de la obra de Marx. En consecuencia el marxismo ha derivado hacia miles de versiones distintas. En muchos lugares los escritos de Marx se han erigido en dogma oficial, desembocando así en una situación parecida a la de la Iglesia durante la Edad Media. En realidad existen muchos paralelismos entre los movimientos religiosos y marxistas.

Tanto el marxismo como el cristianismo favorecen un enfoque lineal del tiempo así como un paraíso atemporal después del fin de la Historia. En el cristianismo, este período sigue al Apocalipsis y al segundo advenimiento. Marx afirma que la etapa final de la Historia es el comunismo.

Según la interpretación marxista de la Historia, denominada materialismo histórico, hay cinco etapas principales de desarrollo hu-

mano. La primera etapa se llama comunismo primitivo: es decir, el estado de cosas antes de que nacieran la conquista imperial y la guerra. El segundo período del desarrollo lo representó la civilización romana, en que la esclavitud constituía el mecanismo económico subyacente. Según la dialéctica, las contradicciones internas produjeron la defunción del imperio romano. Esas contradicciones conducían al derrocamiento de una camarilla dirigente por otra. Así los señores feudales se llevaron la ventaja en tanto se desmoronaba el imperio romano.

La tercera fase de la Historia es la que llamamos la Edad Media, Marx la etiquetó la época feudal, y terminó cuando la clase capitalista emergente empezaba a consolidar su poder. A medida que la base económica de la sociedad se desplazaba de la agricultura a la industria, los señores feudales iban cediendo su poder a la burguesía floreciente.

El cuarto período de la Historia consiste en la dominación capitalista del mundo. Muchos de los contemporáneos de Marx suponían que el capitalismo era un estado natural y que, por tanto, duraría para siempre –supuesto que divertía a Marx al considerar que la defunción del feudalismo constituía una prueba del carácter dinámico de la Historia. En *Poverty of Philosophy* {*La pobreza de la filosofía*}, Marx escribe: «Los economistas consideran naturales y basadas en leyes eternas las instituciones burguesas, y artificiales las instituciones feudales. De modo que ha habido Historia, pero ya no la hay.»[7]

Marx sostiene que también son frágiles las instituciones capitalistas. El cambio histórico ocurriría debido a la organización de la clase trabajadora. Al fin, ésta asumiría el control de la sociedad. Ese período se denominaría la «dictadura del proletariado». Tras esa fase de gobierno obrero, quedarían eliminadas todas las diferencias de clase. La Historia llegaría a su fin, dado que ya no existirían contradiccio-

nes en la estructura social. Marx denomina a ese período el del comunismo mundial.

Es interesante observar que Marx refuta el punto de vista según el cual la sociedad capitalista duraría para siempre al tiempo que predica una era eterna para el comunismo. Podríamos preguntarnos por qué suponía Marx que el elemento dinámico de la Historia desaparecería precisamente en ese punto. El filósofo de la Historia, Christopher Dawson, explica de la siguiente manera esta aparente contradicción:

«Claramente, esta inconsecuencia se debe a la victoria de la visión apocalíptica marxista sobre la filosofía marxista. La esencia de una visión apocalíptica reside en que mira hacia el fin de la Historia y nunca puede conformarse con un movimiento interminable de cambios cíclicos. Y la esperanza apocalíptica significaba para Marx mucho más que todas sus teorías racionales.»[8]

Hoy en día el mundo se ve dominado por dos superpotencias con dos filosofías rivales del progreso. Tanto el gobierno soviético como el estadounidense han abrazado ideologías que defienden un movimiento ascendente de la Historia: el modelo soviético se basa en Marx y el estadounidense en Smith. Desafortunadamente, ambas sociedades han cometido el error de Marx al suponer con arrogancia que las estructuras sociales actuales continuarán en el futuro. De este modo, nos encontramos con que la propaganda norteamericana indica que su sistema económico y político es la meta de la Historia, mientras los soviéticos dan a entender que su propia sociedad debería servir de modelo para otros gobiernos (si bien la *glasnost* ha contribuido a suavizar en cierto grado esa afirmación). El hecho de que las dos superpotencias suscriben de una forma tan dogmática la visión progresiva de la Historia nos da un indicio de la fuerza de que hoy goza en el mundo este punto de vista.

La teoría de la evolución

Podría afirmarse que el modelo temporal de la vía descendente no entró realmente en el mundo de la ciencia hasta que Clausius propuso la segunda ley de la termodinámica. La ley de la entropía dio cierto grado de verosimilitud –incluso de siniestra certidumbre– a la idea de que se está quedando sin cuerda el universo. De forma análoga, el modelo temporal de la vía ascendente permanecía encerrado en la arena filosófica hasta que Darwin presentó su teoría revolucionaria de que la raza humana es el producto final de una larga cadena evolutiva de acontecimientos. Con la llegada de la teoría de la evolución, la visión progresiva y optimista del tiempo salió del reino de la especulación para consagrarse como ciencia.

La proposición de Darwin no cayó simplemente del cielo. Una serie de trabajos especulativos sobre la geología y otras ciencias naturales prepararon el terreno para la aceptación de un modelo evolutivo del desarrollo de las especies. En muchos sentidos Darwin era un genio, pero no se puede afirmar que se haya anticipado a su época. El paleontólogo Stephen Jay Gould conjetura que la flecha lineal del tiempo, que denomina «tiempo profundo», apareció en la geología en una fecha tan temprana como 1690 con la publicación de *The Sacred Theory of the Earth* {*La teoría sagrada de la tierra*}, obra del reverendo Thomas Burnet. Los geólogos actuales no miran con buenos ojos la influencia de Burnet porque basó su especulación natural solamente en la Biblia y no se valió del método científico. Sin embargo, Gould encuentra en las proposiciones de Burnet un trasfondo progresivo.

En su obra, Burnet parte de la base de que la Biblia constituye una fuente totalmente fidedigna de la historia de la tierra. A esto le añade una proposición radical: la de que la física y las causas natura-

les pueden explicar todos los sucesos narrados en la Biblia. Por ejemplo, explica el gran diluvio puntualizando un método según el cual se fisura la corteza terrestre y el agua subterránea sale a la superficie bajo la forma de una inundación. Durante el diluvio, la mayoría de los rasgos geológicos de la tierra fueron moldeados por la erosión. Así, según especula Burnet, la tierra fue mucho más atractiva antes del diluvio. La tierra post-diluvia-na es, en comparación, una «ruina horrenda».

Burnet intenta conciliar los enfoques cíclico y lineal del tiempo geológico. Por una parte refuta el planteamiento griego de la repetición absoluta del tiempo. Por otra parte, conjetura que las fuerzas físicas devolverán la tierra a su estado original. Esto recuerda la idea de la recurrencia de Poincaré, el eterno retorno de Nietzsche, y la teoría moderna del universo oscilante. Según el planteamiento de Burnet, no obstante, todos los elementos físicos de la tierra volverán a su posición original mediante una segunda conflagración tal como predice la Biblia. Burnet hace hincapié en que el segundo acontecimiento global será distinto del primero, y así se distancia del enfoque cíclico. Esta catástrofe futura será de fuego y no de agua. Pese a su naturaleza distinta, la segunda catástrofe servirá de imagen especular de la primera. Después del gran fuego, el paraíso volverá a la tierra más o menos de la misma forma en que el gran diluvio se lo arrebató.

Como señala Gould, en esta predicción existe una interacción interesante entre el tiempo cíclico y lineal. Para él, la obra de Burnet es:

«... la más bella expresión jamás publicada de la tensión que existe entre dos visiones complementarias del tiempo –el contraste antiguo entre la flecha y el ciclo del tiempo... La Teoría Sagrada representa metáforas para construir una visión unificada de la Historia que capte los rasgos sobresa-

lientes de cada una– la capacidad narrativa de la flecha y la regularidad inmanente del ciclo.»[9]

La obra de Burnet demuestra la fragilidad de los intentos por parte de los científicos de poner en correlación su propio trabajo y la descripción bíblica de los acontecimientos. Pronto se abandonaron tales intentos. A mediados del siglo XIX, la mayoría de los científicos ya veían en la Biblia un documento metafórico que no guardaba relación alguna con la teoría científica. Las técnicas de la datación geológica hacían creer a la mayoría de los naturalistas que la tierra es mucho mayor que la edad sugerida por la sucesión de los acontecimientos narrados en el Antiguo Testamento. ¿Cómo podemos explicar un giro tan brusco en el campo

geológico?

En 1795 apareció una obra muy influyente sobre la geología. El geólogo escocés James Hutton rechaza en *Theory of de Earth* {*Teoría de la tierra*}, la teoría catastrofista del cambio geológico. Afirmando que la topografía de la tierra se formó mediante unos procesos evolutivos lentos, él imagina una historia del mundo que difiere totalmente de la versión bíblica. Hutton postula que las fuerzas que crean montañas y ríos siempre han funcionado de la misma manera. La tierra de hoy se parece mucho a la tierra de hace miles de años. Esto se llama el principio del «*uniformitarismo*»*** (N. del T.: sic., las comillas son mías).* Puesto que los rasgos geológicos que nos rodean se han creado mediante la erosión y otros procesos lentos, la tierra debe de tener una edad de unos millones de años. Hutton conjetura que la edad de la tierra podría ser hasta infinita. No existe ninguna razón para creer que la tierra acabe con una catástrofe.

El enfoque que da Hutton al tiempo geológico no es lineal. Como en las teorías circulares tradicionales del tiempo, el mundo de Hutton tiene hoy más o menos el mismo aspecto que hace un millón de

años. Sin embargo, al suponer que la tierra es tan vieja, hace verosímil la idea de que en realidad la evolución natural pudo ocurrir. Con anterioridad a Hutton, la ciencia natural tenía cuidado en secundar –al menos en principio– la idea de que la tierra tiene sólo varios miles de años.

En 1830 el geólogo Charles Lyell publicó el primer tomo de su obra *Principies of Geology* {*Fundamentos de geología*}, ampliando el trabajo de Hutton. Lyell describe con gran lujo de detalles sus estudios sobre la formación geológica. Su conclusión es que la premisa de Hutton es correcta: las peculiaridades topográficas son el resultado de procesos lentos como la actividad volcánica y la erosión. No ha habido catástrofes globales como el gran diluvio. Las fuerzas geológicas siguen actuando hoy exactamente de la misma manera que en el pasado.

El trabajo de Hutton y de Lyell preparó el terreno para una nueva forma de describir los fenómenos naturales. Al quedar eliminada la teoría creacionista de la tierra, los biólogos se vieron en la necesidad de explicar la existencia de las diversas formas de vida que se encuentran en todo el planeta. Ya no era aceptable la idea de la intervención divina, y hacía falta una teoría que pudiera explicar la variedad de todas las especies.

Se presentaron numerosas teorías para dilucidar cómo las formas superiores de vida pudieron evolucionar a partir de formas inferiores. Se creía que la evolución era la alternativa lógica al creacionismo. No obstante, no fue hasta la publicación por Charles Darwin de *Origin of Species* {*El origen de las especies*} en 1859 cuando se ofreció una explicación amplia de la evolución de la vida. Darwin llevó a cabo un programa extenso de investigación a bordo del buque de la marina británica «Beagle». Estudió la vida bajo sus múltiples formas y tomó nota de la abundancia y la diversidad de las especies. Se pre-

guntaba cómo ciertas especies se multiplicaban mientras otras se extinguían. Formuló una explicación de la evolución: la teoría de la selección natural.

Darwin opinaba que la selección natural podía aclarar tanto la variedad de las especies como la transformación de una especie en otra. Según esta teoría, la vida evoluciona mediante un proceso que incluye varios pasos. El primer paso del proceso comprende la variación. Cierto mecanismo, que Darwin desconocía, da una progenie distinta dentro de la misma especie. Hoy creemos que este proceso entraña la mutación. La radiación y otros procesos naturales provocan cambios en el ADN de las células reproductoras de una planta o un animal. Dado que el ADN sirve de código genético para determinar la naturaleza de la siguiente generación de una especie, la progenie de la planta o el animal resulta ser mutante: posee rasgos distintos de los de los progenitores.

El próximo paso del proceso es la selección natural. Debido a la variación, especies y variedades diferentes poseen características únicas. Algunas de estas propiedades permiten que las criaturas sobrevivan mejor en su entorno; otras, en cambio, reducen las posibilidades de supervivencia de la especie. Los rasgos que ofrecen las mayores posibilidades de supervivencia y propagación son los que salen claramente favorecidos. Este mecanismo conduce a un proceso evolutivo mediante el cual aparecen distintas especies mientras otras se extinguen.

En una obra posterior, *Descent of Man** {*Evolución del Hombre*}, publicada en 1871, describe minuciosamente como el Hombre desciende de un pariente de los monos mediante un proceso evolutivo. Los detalles de esta evolución pueden encontrarse en los fósiles y los restos óseos. La teoría de Darwin causó un fuerte impacto tanto entre la comunidad científica como en el público en general. En cierto modo

proporcionó una base material para el modelo progresivo del tiempo. Mediante la evolución, los animales, los seres humanos, las sociedades, incluso quizá el universo entero podían alcanzar grados cada vez más altos de desarrollo. Las ciencias sociales acogieron al darvinismo considerándolo una afirmación de la idea del progreso. En muchos sentidos, Darwin fue el científico más influyente del siglo XIX. En 1886, en una alocución que pronunció ante una reunión de La Academia Imperial Alemana de Ciencia, Boltzman comentó:

«*Si consideramos el aparato de la ciencia natural experimental como herramienta para obtener un beneficio práctico, ciertamente no podemos negar su éxito. Se han conseguido unos resultados nunca imaginados, cosas que soñó la fantasía de nuestros antepasados en sus cuentos de hadas... Sin embargo, creo que no son éstos los logros que marcarán con su sello nuestro siglo: si ustedes me piden mi convicción más íntima sobre si se llamará un día el siglo del hierro, del vapor o de la electricidad, yo contesto que sin la menor duda se llamará el siglo de la visión mecánica de la naturaleza, de Darwin.*»[10]

El primer sociólogo que apoyó la teoría de Darwin fue su compatriota Herbert Spencer, quien se había anticipado a las obras de aquel con su propia teoría de la evolución publicada en 1857. Cuando apareció *Origin of Species,* Spencer la reconoció enseguida por una obra de una importancia universal. La incorporó a su teoría de la evolución de la sociedad humana, y sus obras eran muy influyentes. Darwin lo tenía en gran estima, y escribió en una ocasión que consideraba a Spencer «con mucho el mejor filósofo viviente de Inglaterra; quizá a cualquiera que jamás vivió».

En 1858, Spencer comenzó a proyectar una serie de libros que examinaron los campos de la biología, la psicología, la sociología y la moral desde una perspectiva evolucionista11. Ya había escrito un artículo titulado «La hipótesis nebular», que describió un esquema se-

gún el cual las estrellas, los planetas y otros cuerpos de la galaxia han evolucionado a partir de nubes gaseosas. El imaginaba que el universo ha evolucionado desde el caos hasta unas estructuras ordenadas. Su *First Principies* {*Fundamentos*}, el primer volumen de su serie proyectada, apareció en 1862. Pronto le siguieron *Principies of Biology* y *Principies of Psychology,* y ambos adoptaron el enfoque evolucionista. El primer tomo de *Principies of Sociology* apareció en 1876.

Las ideas de Spencer sobre la sociología pueden resumirse en el término «supervivencia de los más aptos», término que él mismo acuñó. Razonó que los elementos más débiles de una sociedad se extinguen debido a las guerras, la pobreza y las catástrofes naturales. Sólo sobreviven la gente y las sociedades más fuertes. De este modo ha habido un proceso evolutivo en que las guerras y las catástrofes han servido un fin importante, por horrendas que hayan sido. La civilización ha ido alcanzando formas cada vez más altas extirpando a los indeseables.

Más tarde, los sociólogos y los economistas se valieron del ejemplo de Spencer al proponer que la teoría evolucionista de Darwin se incorporase a las ciencias sociales. El concepto de la supervivencia de los más aptos resultaba atractivo para los seguidores tanto de Smith como de Marx. Para los economistas del «laissez-faire» al estilo de Smith, la expresión «supervivencia de los más aptos» reflejaba lo que ellos siempre habían creído. Las personas inteligentes son capaces de fabricar un producto mejor y acaparar así el mercado, según razonaban. En cambio, la gente que no sabe crear un bien utilizable o proporcionar un servicio útil no encuentra trabajo ni obtiene beneficios. Las mejores industrias sobreviven; las peores se extinguen. La «mano invisible» de la economía no es más que un sinónimo de la selección natural.

Algunos economistas y sociólogos más conservadores dieron un paso más. A finales del siglo XIX nació una filosofía llamada «*darvinismo social*» {*N. del T.: Las comillas son mías*}. Los partidarios de esa teoría sostenían que ciertas clases económicas, razas y grupos sociales eran inferiores a otras. Mediante una lucha por la supervivencia los más fuertes entre esos grupos se harían con el poder. Se recurría al darvinismo social para justificar los peores excesos de la sociedad industrial, puesto que significaba que los pobres merecían su destino debido a su inferioridad. Peor todavía, implicaba que cualquier esfuerzo por ayudar a los pobres y a los débiles resultaba regresivo.

Los marxistas dieron a Darwin una interpretación radicalmente distinta. Marx creía que sus propias teorías de la lucha de clases se parecían al modelo de Darwin. Es más: quería incluso dedicarle a Darwin una sección de *Das Kapital,* pensando que su propia obra era comparable a *The Origin of Species.* La lucha de clases en el marxismo es afín al concepto de Darwin de la lucha por la supervivencia; es decir que, mediante una batalla librada entre los trabajadores y los capitalistas, los más débiles perecerían y sobrevivirían los más fuertes.

No es probable que Marx haya querido decir literalmente que se debiera exterminar a los capitalistas o a los «reaccionarios» de ningún tipo y, sin embargo, he aquí otra teoría que fue llevada a sus conclusiones lógicas. Siguiendo dogmáticamente su propia interpretación de Marx, Joseph Stalin aniquiló a millones de campesinos en nombre de la evolución y del progreso. Queda claro que la interpretación que se le de al significado del tiempo y la historia puede resultar bastante peligrosa.

Uno de los defensores –y de los detractores– más destacados de la idea del progreso social evolutivo fue el escritor inglés H.G. Wells. Wells escribió varias novelas utópicas en que la evolución conducía a estados más altos de crecimiento político. No obstante, nada más

construir meticulosamente estos edificios de armonía social, se ponía a derribarlos con agudeza y escepticismo. Citemos a modo de ejemplo *The Time Machine,* donde el viajero a través del tiempo se desplaza a la tierra del futuro, que parece un paraíso12. Las flores han evolucionado hasta asumir formas más bellas y delicadas. La sociedad humana parece vivir en paz y armonía. Sin embargo, el protagonista no tarda en darse cuenta de que la Humanidad ha empezado a *degenerar* en formas más primitivas. Lo que fue en su momento la clase alta se ha convertido en una subespecie endeble e indefensa de la Humanidad. Lo que fue antaño el proletariado, en cambio, se ha transformado en una sociedad de brutos del hampa.

Conforme el viajero avanza más hacia el futuro, se encuentra con que las formas más altas de vida van sustituyéndose por formas cada vez más primitivas. Llega un momento en un futuro muy lejano en que se habrá extinguido toda la vida. Poco a poco, las órbitas de los planetas se aproximan más al sol. Parece que el mundo acabará pronto. El viajero se horroriza al darse cuenta de que es la entropía y no el progreso lo que triunfará en un futuro lejano.

Los sentimientos de Wells reflejan el debate en torno al punto hasta el cual sea válido imaginar que la evolución es un proceso indefinido. Wells conocía las teorías de Darwin y Spencer, pero también conocía el punto de vista de Clausius. Si no acepta todas estas teorías, se ve obligado a meditar el dilema provocado por el choque brusco entre dos visiones radicalmente distintas del tiempo. La evolución representa una de estas visiones y la entropía, la otra. La primera corresponde al modelo temporal de la vía ascendente y la segunda, al de la vía descendente. El problema surge a la hora de conciliar los dos puntos de vista.

La ley del aumento de entropía implica que también está aumentando la desorganización; la ley de la evolución parece indicar lo

contrario. La vía parece evolucionar hacia formas cada vez más complejas. Nadie mantendría, por ejemplo, que una ameba y un ser humano tienen el mismo grado de complejidad. Un universo que se precipita hacia una muerte térmica y uno que produce estructuras de una complejidad cada vez mayor presentan una paradoja profunda. ¿Se está extinguiendo el universo, o sólo está empezando a florecer?

Una posible solución a este problema estriba en postular que la vida sea una excepción a la segunda ley de la termodinámica. Según escribió el filósofo Henri Bergson, «La vida asciende la cuesta que la materia desciende»13. Hay quienes han argumentado que la segunda ley se puede aplicar exclusivamente a los sistemas que se aproximen al equilibrio (un estado de equilibrio es uno en que no es posible ningún cambio importante sin la intervención de una fuerza externa). Ahora bien: parece perfectamente posible que la segunda ley no sea aplicable a los sistemas de no equilibrio, puesto que Clausius formuló la ley suponiendo que los estados termodinámicos que estudió se aproximaban al equilibrio. Además, estudió sólo los sistemas cerrados, es decir, los que intercambian energía, pero no materia, con su entorno. El proceso de la vida no pertenecería a los que Clausius estudió. Los seres vivos siempre existen en un estado muy lejos del equilibrio; el estado de equilibrio de la vida es la muerte. También son sistemas abiertos que intercambian continuamente materia con su entorno. Por consiguiente, es muy posible que la ley de la entropía no pueda aplicarse a los procesos vitales –una cláusula de excepción de la segunda ley.

Arthur Koestler presenta un argumento vehemente, casi pedante, en contra de la inevitabilidad de la muerte cósmica en *The Ghost in the Machine:* «La biblia de la ciencia de la tierra plana fue la famosa segunda ley de la termodinámica de Clausius. Esta afirmó que el universo se está quedando sin cuerda, como un mecanismo de reloje-

ría que sufre fatiga metálica (hacia) la muerte térmica del cosmos... Sólo en años recientes la ciencia comenzó a reponerse del efecto hipnótico de esta pesadilla y a darse cuenta de que la segunda ley es aplicable sólo en el caso especial de los así llamados sistemas cerrados... El que la ley no se aplicara a la materia viva, y que en cierto sentido se invirtiera en la materia viva, resultó bastante difícil de aceptar para una ortodoxia que todavía estaba convencida de que todos los fenómenos de la vida podrían reducirse en última instancia a las leyes de la física.»14

Koestler propone una flecha «optimista» del tiempo para sustituir la teoría pesimista favorecida por la mayoría de los físicos:

«La visión de conjunto de la evolución biológica y mental revela cómo las fuerzas creativas en toda la línea van encaminadas hacia una realización final del potencial de la mente y la materia viva –una tendencia universal hacia el desarrollo espontáneo de una mayor heterogeneidad y complejidad.»

Las fuerzas contra las que Koestler parece estar luchando son las que han intentado incorporar la materia viva a los modelos termodinámicos. La comunidad de físicos ha opuesto mucha resistencia a la posibilidad de cualquier exención de la ley de la entropía. Se suele razonar que los seres vivos funcionan mediante un proceso de degradación energética; es decir, que convierten fuentes ordenadas de energía (alimento) en energía desordenada de desecho. Los procesos mentales característicos de los seres humanos entrañan claramente una creación del orden a partir del desorden. Sin embargo, se mantiene que el grado de disminución de entropía debido a este aumento de información se ve más que compensado por el aumento de entropía derivado de los procesos metabólicos. De este modo, el efecto neto sigue siendo un *aumento* general de entropía.

No obstante, podría observarse que el grado de disminución de entropía debido a la creatividad no es susceptible de medición exac-

ta. La conciencia es algo sumamente difícil de cuantificar porque todavía no se la comprende bien. Esto impide extraer conclusiones claras sobre la aplicación de la segunda ley a los organismos *conscientes.* Como señala Du Nouy:

«*A primera vista puede afirmarse que todos los fenómenos vitales dependen de las leyes de la energética, y sobre todo, de la ley de Carnot-Clausius. Contribuyen en consecuencia al aumento de entropía del sistema de que forman parte los seres vivos, al igual que todos los demás fenómenos que obedecen a la química y a la física.*»

«En cambio... el experimentador no debe olvidar nunca que el ser vivo constituye un organismo completo. Posee una personalidad, y el fenómeno biológico en conjunto no se debe simplemente a la suma de los fenómenos químicos elementales, sino al orden en que ocurren estos fenómenos en el tiempo y el espacio. El orden parece ser la expresión de una finalidad predeterminada.»[15]

La obra clásica sobre la aplicación de la termodinámica a los organismos vivos es *What is Life?* de Erwin Schrödinger. Explica Schrödinger que la vida difiere de modo significativo de otros procesos físicos. Obedece a la ley de la entropía, eso sí, pero es capaz de mantener depósitos importantes de orden entre el caos generalizado de su entorno. En palabras de Schrödinger: «Se nutre de la entropía negativa.»[16] La vida acaba por alcanzar un estado de entropía máxima, a saber, la muerte, pero tarda un tiempo descomunal en alcanzar este estado en comparación con la velocidad a la que la mayoría de los procesos físicos alcanzan un equilibrio.

Schrödinger razona a continuación que puede explicarse esta anomalía en términos de la física. Lo que organiza la vida son los cromosomas –estructuras aperiódicas protegidas en gran medida contra los procesos que provocan un aumento de entropía. El daño causado por el medio ambiente no suele provocar cambios impor-

tantes en la composición de estos modelos genéticos. Por tanto, al reproducirse mediante los genes, la vida consigue mantener unos estados de complejidad durante mucho tiempo. Sólo el daño causado por la radiación en los propios cromosomas es capaz de detener esa reproducción ordenada.

Encontramos en esto algo realmente extraordinario. Las materias químicas genéticas de la vida (que denominamos hoy ADN) protegen contra los estragos del medio ambiente. Ayudan a retrasar los procesos que aumentan la entropía. Así, hay dos ingredientes esenciales para sostener la vida. Uno de ellos es material –la disponibilidad de alimento y otras materias primas como fuente de entropía negativa. El otro es la organización –la presencia del ADN en tanto que modelo genético para la producción.

El ADN es una de las sustancias más complejas que conoce el Hombre. Está compuesto por un conjunto de cuatro sustancias químicas distintas, llamadas «bases», dispuestas bajo la forma de peldaños en una escalera helicoidal. Estas sustancias se comportan como si fueran las letras de un alfabeto genético, dictando, a través de un mecanismo indirecto, qué tipo de proteínas debe elaborar una célula. Además, el ADN tiene la capacidad de duplicarse –de producir una copia exacta de sí mismo. Es un auténtico milagro que haya podido evolucionar una sustancia con una estructura tan intrincada.

Muchos científicos han sostenido que la evolución del ADN es un suceso sumamente improbable y que no hubiera podido ocurrir durante la historia relativamente corta de la tierra. Desde un punto de vista estadístico ello parece ser cierto. Es difícil imaginar que una molécula tan alargada y compleja haya podido formarse al azar –aunque tengamos en cuenta el hecho de que el medio ambiente de la tierra primitiva era mucho más volátil y conducía a muchas más mutaciones que hoy. Algunos científicos, Fred Hoyle en particular, han

propuesto un origen extra-terrestre para el ADN. Esto admitiría la posibilidad de que el ADN haya evolucionado durante un período de tiempo más largo. No han surgido muchas pruebas que respalden una proposición tan radical.

Otra posible solución a este problema reside en el principio antrópico. Aunque sea sumamente improbable que se den las condiciones que desencadenan la vida, es un hecho que nos encontramos aquí para estudiar este tema. Existen otros billones de mundos posibles en los que nadie puede hacer afirmaciones sobre la evolución – puesto que en ellos no ha ocurrido el suceso improbable del desarrollo de la vida inteligente. Nuestra propia existencia indica que ha ocurrido lo improbable, que la vida ha evolucionado en nuestro planeta.

Por supuesto, ese argumento podrá refutarse si se descubre la vida en otros lugares del universo, lo cual parecería indicar la *inevitabilidad* de la vida antes que su improbabilidad. ¡Sería bastante sorprendente, por ejemplo, que unos seres inteligentes llegasen a Betelgeuse con ejemplares de *The Times* en la cartera! Tendríamos que revisar nuestra idea de que la evolución se produce por casualidad.

Varios filósofos han recurrido a lo que se llama un «argumento teleológico» en lo que concierne a la evolución. Expresado en términos sencillos, un argumento teleológico es la afirmación de que la complejidad de un objeto implica la existencia de un creador. En este caso, la estructura delicada del ADN hace que algunos lo consideren moldeado por la mano de un ser divino. En lugar de la antigua interpretación de Dios –la idea de que Dios creó todas las formas de vida al mismo tiempo– el nuevo planteamiento teológico evolucionista es creer que Dios «programó» la evolución.

Uno de los partidarios más importantes de esa postura fue el paleontólogo y sacerdote jesuíta Teilhard de Chardin17. El método

poco convencional de Teilhard de mezclar el catolicismo con la teoría darviniana le mereció el desprecio del movimiento jesuíta. Estaba prohibida la publicación de sus obras filosóficas durante su vida. Con su muerte en 1955 sus escritos aparecieron por fin. Debido en parte a su naturaleza polémica, causaron una gran sensación.

De una manera similar a Hegel, Teilhard vio en el progreso humano la revelación gradual de la voluntad de Dios sobre la tierra, pero dio un paso más. Postuló que toda la evolución y toda la historia humana hayan sido la realización de Cristo sobre la tierra. Conforme se va volviendo más compleja la sociedad humana, crea vínculos cada vez más estrechos de comunicación, que Teilhard llamó la noosfera. Al final, la noosfera se contraerá hacia un punto, el punto omega. La inteligencia del universo se convertirá en una sola. Equiparó esta inteligencia organizada con el espíritu de Cristo.

Según Teilhard existen dos reinos: el físico y el espiritual. Cada reino posee su propia energía, la tangencial y la radial respectivamente. La energía tangencial sufre la clase de degradación que predijo Clausius. Si todos los procesos del universo fuesen impulsados por esa clase de energía, el universo degeneraría hasta sucumbir a una muerte térmica.

La fuerza que potencia la complejidad creciente del universo es la energía radial; ésta, para Teilhard, es lo que causa que los protozoos más simples evolucionen hacia formas de vida cada vez más complicadas. También ha proporcionado el impulso para el progreso humano y la búsqueda de la unión humana. En realidad, la meta final de la civilización es la organización a gran escala de la Humanidad. Sólo entonces puede alcanzarse el punto omega. Teilhard denominó «Noogénesis» al proceso entero.

El cosmólogo británico John Barrow ha señalado las similitudes entre la imagen de Teilhard del punto omega y la descripción cosmo-

lógica moderna del fin del tiempo para un universo cerrado (uno que se colapsa)18. Al contrario del modelo de universo cerrado de vía descendente en que el estado final del cosmos es totalmente inactivo (como se ve, por ejemplo, en el enfoque de Hawking), el fin del tiempo que propone Teilhard es mucho más optimista. El creía que el espíritu de la inteligencia podría sobrevivir incluso a la muerte térmica. En ese caso el punto omega sería un tiempo de armonía universal. Teilhard mantenía que:

«*... existe un progreso, dentro de nosotros y en nuestro derredor, una intensificación continua de la conciencia en el universo.*

Durante un siglo y medio la ciencia de la física fue dominada por la idea de la disipación de la energía y la desintegración de la materia. Al exigirle la biología que estudie los efectos de la síntesis, está empezando a percibir que, paralelo con el fenómeno de la desintegración corpuscular, el universo exhibe de modo histórico un segundo proceso tan generalizado y fundamental como el primero: me refiero al proceso de la concentración gradual de sus elementos físico-químicos en núcleos de creciente complejidad, en el cual cada etapa sucesiva de concentración y diferenciación material va acompañada de una forma más avanzada de espontaneidad y energía espiritual

¡Una efusión de Entropía igualada y compensada por la marea creciente de una Noogénesis!»[19]

En las últimas décadas, unos métodos más convencionales, bien fundamentados en la investigación experimental, se han aplicado con la intención de conciliar las dos flechas del tiempo que representan la entropía y la evolución. A sendas teorías recientemente formuladas sobre la auto-organización pueden constituir el germen de una explicación completa del origen de la vida y de otros fenómenos complejos, viendo en estos sistemas unas islas de orden en un universo caótico en plena desintegración.

La auto-organización

Durante el siglo XX, la física ha acostumbrado abrazar dos modelos de la dirección del tiempo. El primer modelo es el punto de vista de la vía circular, que hizo su primera aparición en el reino de la física en tiempos de Newton. Como hemos visto, esa imagen del tiempo puede aplicarse con éxito al mundo microscópico de las partículas, donde el orden de los acontecimientos es de poca importancia. El segundo enfoque, el de la vía descendente, se aplica a situaciones relacionadas con los sistemas macroscópicos, como en los problemas que comprenden el intercambio de calor o de materia. Los físicos se han desvivido por formular teorías que expliquen por qué el tiempo intrascendente puede utilizarse en algunos casos mientras en otros se debe recurrir al tiempo unidireccional y entrópico.

El tercer modelo del camino del tiempo, que puede etiquetarse como enfoque de la vía ascendente, ha encontrado un lugar en el mundo de la física sólo en años recientes. Tradicionalmente los físicos han hecho caso omiso de la flecha optimista del tiempo. Se nos podrían ocurrir varias posibles razones para explicar esta falta de interés por el tiempo progresivo:

1. La idea del progreso es relativamente nueva. Como hemos puntualizado, la visión progresiva del mundo quedó suprimida hasta bien avanzado el Renacimiento. No fue hasta el siglo XIX cuando adquirió relieve. Incluso entonces, no apareció en las ciencias hasta la época de Spencer y de Darwin.

2. La física se había aislado cada vez más del resto de la comunidad científica. El sello de la Revolución Industrial fue la especialización, sobre todo en el mundo de las ciencias. Hasta hace relativamente poco tiempo, los físicos de la corriente principal se interesaban poco por los desarrollos de la biología, la química, la psicología, la

meteorología, etcétera. En algunos de estos campos, se han realizado descubrimientos (como la evolución) que no han penetrado en la comunidad de físicos. Afortunadamente, las cosas están cambiando y ahora existe mucha más cooperación entre las ciencias.

3. La plena comprensión de la complejidad era imposible antes de la edad de la informática. El desarrollo del ordenador condujo a un enfoque radicalmente nuevo de la física. Antes de la llegada del computador, el lema de la física era «simplificar». Esto arrojó como resultado unos progresos importantes en la comprensión de dos tipos de casos extremos.

El primer planteamiento tradicional para entender un fenómeno físico concreto estriba en el estudio de sólo un objeto o dos donde exista la mayor simetría posible. Por ejemplo, Newton dio con la ley de la gravedad al estudiar la órbita de la luna alrededor de la tierra (dos objetos), del movimiento de la tierra alrededor del sol (dos objetos) y la caída de objetos individuales, como manzanas, a la tierra (dos objetos). A fuerza de limitarse a ejemplos sencillos, Newton pronto descubrió la forma de gravedad descrita por la ley del cuadrado inverso. Se ha utilizado el mismo enfoque para comprender los fenómenos eléctricos y magnéticos.

El segundo método tradicional de crear modelos físicos consiste en estudiar una gama muy amplia de objetos y luego en buscar relaciones estadísticas. Es éste el método gracias al cual los físicos han llegado a comprender las leyes de la termodinámica. La ciencia de la mecánica estadística se ha desarrollado para comprender las propiedades de grandes conjuntos de moléculas. Por ejemplo, dado que un recipiente típico de gas contiene trillones y trillones de moléculas, es posible examinar el comportamiento *medio* del conjunto. Al hacerlo, uno está simplificando enormemente. Por ejemplo, si el gas está lejos

del equilibrio, es muy difícil establecer aproximaciones estadísticas. Así, no se comprende bien la termodinámica de no equilibrio.

Con un objeto o dos, vemos una reversibilidad newtoniana. Si examinamos un conjunto infinito de objetos en equilibrio, vemos la irreversibilidad termodinámica y un acercamiento a la muerte térmica. Pero ¿qué pasa con el territorio de en medio?

Antes del advenimiento del ordenador, cuyo precio más asequible lo ha puesto al alcance del público sólo en las dos últimas décadas, esa tierra de nadie estaba aún sin explorar. Se suponía, sin embargo, que se parecía más o menos a uno de los dos extremos, lo cual equivale a la deducción de que Estados Unidos tiene una gran riqueza forestal y alta densidad de población después de explorar sólo las costas este y oeste. Evidentemente, semejante enfoque no revelaría las propiedades del estado de Nebraska. Solamente ahora está reconociéndose estas inmensas tierras interiores de la física con ayuda de simulaciones en ordenador.

Los ordenadores han resultado ser de un valor inestimable para la física contemporánea. Con estas herramientas, pueden explorarse por primera vez los sistemas de complejidad no trivial. Las condiciones experimentales pueden reproducirse en un ordenador con el resultado de que pueden desarrollarse unos modelos muy sofisticados. Sólo con estos modelos podemos ver un esquema diferente del flujo temporal.

Otro campo en el que los computadores han sido de gran utilidad es el de la inteligencia artificial. Al estudiar el problema de cómo llevar a cabo ciertas tareas mediante un ordenador, nos hemos hecho una idea más clara de la estructura de la acumulación y el procesamiento de datos. Estamos en condiciones de abordar el tema formidable del funcionamiento del cerebro humano y del sentido de la conciencia. Así, la cuestión global de la evolución de la inteligencia

puede tratarse por primera vez a través de la física. Como hemos visto en la sección anterior, este problema tiene unas consecuencias profundas para el significado del tiempo.

4. El tiempo progresivo no puede comprenderse con un esquema algorítmico. Desde hace varias décadas venimos asistiendo a un interés por un enfoque holista de la ciencia. Secularmente los físicos han seguido un método algorítmico para resolver los problemas: un método rígido, que implica cálculos realizados paso a paso, se utilizaba para obtener una solución. Esto suele asociarse a un planteamiento totalmente determinista: dada una serie de condiciones iniciales, se pueden calcular los valores futuros de una función concreta que se ajusten a los datos experimentales. La visión holista se interesa más por observar unos patrones a gran escala, antes que computar de forma sistemática los valores de los detalles, de cierta estructura organizada. La idea holista está íntimamente relacionada con la de la inteligencia.

Podremos comprender la importancia del holismo si imaginamos un intento de aplicar al mundo del arte el método científico tradicional. La imagen de la *Mona Lisa*, por ejemplo, ha aparecido bajo miles de formas distintas. Puede encontrarse este cuadro tan famoso en posters generados por computador, en la televisión y en dibujos animados. Pueden hallarse unas deformaciones grotescas de la *Mona Lisa* en toda suerte de medios; citemos, a modo de ejemplo, *la representación por Duchamp de la Mona Lisa* con bigote. Supongamos que quisiéramos descubrir el rasgo esencial de esta imagen: ¿Qué es lo que hace que una *Mona Lisa* sea una *Mona Lisa?* Un método algorítmico de ningún modo sabría ofrecer una respuesta a esta pregunta. Uno se vería absorto en las minucias de la composición física o química de la estructura molecular de un ejemplar determinado del retrato, el cual diferiría substancialmente, claro está, de un medio a

otro. Sólo un enfoque holista que hiciera hincapié en el reconocimiento de patrones podría emplearse para ofrecer una respuesta.

Durante los años sesenta y setenta el público se volvió cada vez más consciente del holismo. Los planteamientos holistas del cuidado de la salud, por ejemplo, fueron ganando popularidad. Sin duda, es cierto que el interés popular por ver los objetos en términos de totalidades lanzó a un grupo entusiasmado de científicos deseosos de aplicar el principio a la naturaleza. James Gleick ha sugerido que el espíritu radical e inconformista de los años sesenta podría haber jugado su papel en proporcionar el impulso para un enfoque novel de la física. Indiscutiblemente el interés por una forma de vida holista podría llevar a considerar unas teorías holistas de la Física.

Si unimos la idea del progreso evolutivo a un enfoque holista de la naturaleza y luego añadimos el interés interdisciplinario por las simulaciones en ordenador, comprenderemos fácilmente cómo ha surgido un nuevo paradigma científico. Sin embargo, según el verdadero espíritu holista, la totalidad es mucho mayor que la suma de sus partes. El nuevo esquema físico que ha venido desarrollándose es el principio de la auto-organización. Este principio es fruto de la reunión del pensamiento proveniente de todos los campos de la ciencia. Los esquemas auto-organizativos propician un concepto fundamentalmente progresivo de la naturaleza del tiempo. A través de estos planteamientos, se ha hecho posible comprender plenamente cómo surge el orden a partir del caos y, de ahí, el modelo del tiempo de la vía ascendente.

Para comprender cómo el orden puede desviar de la desorganización, es preciso conocer en primer lugar la verdadera naturaleza del caos físico. En el pasado, se concebía el caos como manifestación del desconocimiento de algún sistema físico, desconocimiento que se debía al hecho de que el sistema poseía gran cantidad de constitu-

yentes. Si pudieran conocerse con precisión todos los elementos que componen un sistema determinado, podría construirse un modelo físico exacto.

Por ejemplo, durante los años cincuenta, se creía que la previsión meteorológica estaba destinada a convertirse en una ciencia exacta. Si pudieran tomarse suficientes mediciones de la atmósfera en algún momento determinado, podría construirse un modelo computerizado de los estados futuros de la atmósfera. El matemático y meteorólogo Edwin Lorenz decidió someter a prueba la doctrina. Construyó un modelo ideal del tiempo mediante unas cuantas ecuaciones de mínima complejidad. Añadiendo los valores de la velocidad de las corrientes de aire y los de otros parámetros, como la temperatura, la presión y la velocidad de rotación de la tierra, creyó poder hacer previsiones meteorológicas.

Lorenz descubrió, en cambio, que su modelo era extraordinariamente sensible a las condiciones iniciales. Una ligera modificación de cualquiera de los parámetros conduciría a una desviación, que aumentaba de forma exponencial, en la previsión. Ello resulta ser catastrófico para el modelo, pues es imposible conocer con una precisión completa ningún parámetro natural. Siempre existe cierto grado de incertidumbre con respecto a su valor.

Lo que Lorenz descubrió se llama a veces el efecto mariposa: es decir, la propiedad de algunos conjuntos de ecuaciones según la cual la mínima modificación de las condiciones iniciales conduciría a una incertidumbre cada vez mayor sobre los valores futuros de esas cantidades. Tales ecuaciones no son deterministas; un conocimiento del pasado no garantiza un conocimiento del futuro a menos que el pasado se conozca perfectamente. Cualquier fluctuación pequeña puede llevar a unos resultados aleatorios. De este modo, hasta el aleteo

de una mariposa puede modificar los resultados meteorológicos de una manera imprevisible.

Desde principios de los sesenta se han encontrado muchos otros ejemplos de sistemas físicos tipificados por unas series de ecuaciones que muestran una dependencia sensible de las condiciones iniciales. En la terminología científica actual, se dice que dichos sistemas exhiben la característica del «caos determinista». La marca del caos determinista estriba en que unas ecuaciones sencillas pueden conducir a una complejidad asombrosa.

Si eso fuera todo, nos quedaría poca esperanza de describir con ecuaciones sencillas la complejidad del universo. La cuestión es que la teoría del caos parece representar el azar y la turbulencia. Es difícil imaginar cómo se podría utilizar semejante método para describir la desorganización.

Es interesante observar que muchos sistemas caóticos muestran una gran regularidad. Por ejemplo, han elaborado modelos parecidos a los de la simulación meteorológica de Lorenz y que se denominan «*atractores extraños*» {*N. del T.: Las comillas son mías.*} Esos entes exhiben una mezcla curiosa de caos y de formación de patrones. Las ecuaciones que representan estos atractores se parecen para todos los efectos a los generadores de números aleatorios. Sin embargo, a pesar de su aparente aleatoriedad, pueden encontrarse unos patrones extraños en los resultados. Si se hace un gráfico de los resultados de las ecuaciones, todos los puntos se sitúan en unas estructuras parecidas a cintas. Si luego se miran de cerca, las cintas muestran unas subestructuras de cintas más finas. En realidad, existe un grado asombroso de regularidad en el dibujo que resulta. La figura geométrica que emerge es una estructura, llamada «*fractal*» {*N. del T.: Las comillas son mías*.} de enorme complejidad.

La moraleja de la teoría del caos es que incluso unos grupos sencillos de ecuaciones pueden dar unos resultados aparentemente aleatorios y que incluso los resultados aparentemente aleatorios pueden mostrar unos patrones intrincados. Lo interesante es que los patrones son sorprendentemente universales e independientes de las ecuaciones específicas que se elijan. Ello tiene implicaciones importantes para la naturaleza de la investigación científica del origen de las estructuras organizadas. Puede que resulte imposible averiguar qué ecuaciones pueden utilizarse para perfilar estas estructuras, pues una clase entera de ecuaciones podría conducir al mismo tipo de organización. De mucho mayor interés es la búsqueda de las características de los modelos matemáticos. Es esto lo que queremos decir con un enfoque *holista* de la resolución de problemas. En vez de intentar buscar una ecuación específica para representar una serie determinada de datos, es más significativo investigar el método general mediante el cual unos patrones surgen a partir del azar.

Entonces, ¿qué es lo que queremos decir con la auto-organización? La auto-organización es la aparición imprevisible de una estructura entre unos resultados esencialmente aleatorios. La emergencia de esta complejidad es totalmente independiente de las leyes naturales que generan los resultados. Surge de unas propiedades poco conocidas de las matemáticas.

Por ejemplo, Mitchell Feigenbaum ha descubierto que muchas ecuaciones pueden dar resultados tanto sencillos como caóticos según el valor de un parámetro concreto (una constante ajustable) en las ecuaciones. Ajustando el parámetro (más o menos del mismo modo en que se gira un botón para sintonizar una radio), se puede pasar de una serie regular de resultados a una caótica. Lo interesante es que el ritmo con el que se pasa de la sencillez al caos es en gran

medida independiente de las propias ecuaciones. Feigenbaum ha encontrado unas constantes universales que miden este ritmo[20].

Los teóricos que estudian los sistemas caóticos pertenecen a disciplinas diferentes. Antes que concentrarse en las propiedades particulares de unas ecuaciones específicas, se interesan por los rasgos universales de los modelos matemáticos; esperan poder aplicar esta universalidad a los fenómenos naturales. Esperan descubrir las propiedades al buscar patrones en los mapas computerizados de los resultados de las ecuaciones. Es éste el mismo enfoque holista que utiliza nuestro cerebro para distinguir la *Mona Lisa* de otros cuadros o de unos conjuntos aleatorios de puntos.

La teoría de la auto-organización puede conducir a una flecha optimista del tiempo a pesar de la segunda ley de la termodinámica. Si unos patrones pueden surgir del azar, también es posible imaginar un mecanismo mediante el cual unas estructuras organizadas, como la espiral del ADN y el cerebro humano, puedan derivar de unos encuentros moleculares aparentemente aleatorios. Gleick lo expresa así: «De una forma u otra, y después de todo, conforme el universo retrocede hacia su equilibrio definitivo en el baño térmico monótono de la entropía máxima, consigue crear unas estructuras interesantes.»[21]

Para Paul Davies, el cosmólogo británico, la teoría de la auto-organización constituye la base de un nuevo paradigma en la física:

«Desde hace tres siglos vienen dominando la ciencia los paradigmas newtoniano y termodinámico, que presentan al universo bien como una máquina estéril, bien en un estado de generación o desintegración. Ahora surge el nuevo paradigma del universo creativo, que reconoce el carácter progresivo e innovador de los procesos físicos. El nuevo paradigma subraya los aspectos colectivo, cooperativo

y organizativo de la naturaleza; su perspectiva es sintética y holista antes que analítica y reduccionista.»[22]

La teoría de la auto-organización y la idea del caos se han aplicado a una plétora de sistemas naturales. Los científicos se han interesado por aprender cómo el orden puede surgir del azar en circunstancias diversas. La teoría del caos ha desembocado en posibles modelos de la formación de los anillos de Saturno para resolver el problema de cómo unas rocas que se mueven al azar han podido dar lugar a modelos tan complejos. Se ha aplicado a sistemas de turbulencia de fluidos, con el resultado de que se ha descubierto el orden entre los flujos turbulentos de agua. Los ecólogos se han interesado en la cuestión de por qué ciertas poblaciones de ecosistemas crecen, otras se extinguen, mientras otras tienden a oscilar.

Uno de los campos más apasionantes de investigación ha sido el de la inteligencia artificial. Los investigadores han elaborado teorías del conocimiento llamadas modelos de red neural. En este terreno los científicos se han interesado en la manera de adquirir los conocimientos de un modo tan veloz. No pueden lograrse mediante un proceso lineal y algorítmico, simplemente porque tardaría demasiado. Los procesos mentales deben de producirse de una forma diferente, probablemente por un método holista similar a la formación de la complejidad en los sistemas caóticos. Es de esperar que algún día podamos comprender perfectamente los mecanismos del cerebro humano y entender cómo evolucionan.

Una pregunta de interés fundamental es la siguiente: ¿Cómo llegó a desarrollarse la vida a partir de unas sustancias químicas sin vida? Una de las características más elementales de la materia viva es su capacidad de reproducirse. En particular, ¿cómo una sustancia química consigue realizar una réplica exacta de sí misma con las materias a su alcance? No está claro cómo evolucionó la vida autorre-

productora, pues sin la reproducción en primer lugar es difícil imaginar la evolución.

Para poder comprender mejor la idea de la reproducción, el matemático John von Neumann se propuso crear, en el año 1950, unos modelos mecánicos de autorreproducción. A estos modelos los denominó autómatas. Si se les proporcionara las instrucciones adecuadas, los autómatas sabrían construir unas copias exactas de sí mismas a partir de las materias a su alrededor. Las copias a su vez, contendrían automáticamente las instrucciones sobre cómo construir más copias hasta que las máquinas se multiplicasen.

Después de convencerse de que era físicamente posible la construcción de semejante máquina, von Neumann decidió crear unos modelos matemáticos de sus autómatas. Construyendo un autómata en un tipo de tablero de ajedrez, desarrolló lo que ha dado en llamarse autómatas celulares. Un autómata celular consiste en un retículo (rejilla) de células en el que cada célula puede asumir uno de un conjunto determinado de valores. Basada en unas reglas sencillas que cambian sus valores, cada célula se actualiza a intervalos regulares. Las reglas dependen de los valores de la célula y sus vecinas.

Para modelar una máquina autorreproductora, von Neumann construyó un dibujo numérico en una rejilla. Formuló a continuación unas reglas, mediantes las cuales se podría actualizar cada retículo. Después de un tiempo suficiente, descubrió que la configuración original podía producir una réplica exacta de si misma al seguir las reglas sencillas.

Desde la época de von Neumann, han venido utilizándose los autómatas celulares para construir modelos de diversos sistemas físicos, químicos y biológicos. Lo interesante de los autómatas es su tendencia a formar diseños. No hay ningún código en las reglas de los autómatas que dicte a las células cómo han de crear los dibujos. Es-

tos surgen de forma espontánea, constituyendo así un ejemplo fascinante del comportamiento auto-organizativo.

En 1970, un modelo de autómatas que despertó mucho interés entre los programadores de ordenador fue construido por John Conway, matemático de la Universidad de Cambridge. El modelo, llamado el Juego de la Vida, maravilló a los observadores por su catálogo de dibujos fascinantes, al parecer interminables, generados de forma espontánea por las reglas de los autómatas. La finalidad del juego consiste en representar la evolución de las poblaciones de ciertas especies en la que los factores de la superpoblación y del hambre, por ejemplo, desempeñan un papel regulador a la hora de contener el ritmo de

crecimiento.

Para jugar, se empieza con una rejilla o con un tablero en que a cada cuadro se le asigna un valor de 0 o de 1. Las células de valores 0 se consideran muertas y las de valor 1, vivas. Cuando una célula viva está rodeada de otras muchas, muere debido a un exceso de población. En cambio, una célula viva necesita por lo menos unas cuantas vecinas para sobrevivir y reproducirse.

Las reglas que determinan la muerte y la reproducción se aplican todas de una vez a través del tablero y en un solo paso, llamado «*iteración*»{*N. del T.: Las comillas son mías.*} Después de cada iteración, el patrón de las células vivas cambia. Para su sorpresa, Conway descubrió que las formas más intrigantes de auto-organización pueden ocurrir en los autómatas[23]. Empezando por configuraciones al azar de valores 0 y 1 (materia muerta y organismos vivos respectivamente), advirtió una evolución hacia estructuras organizadas interesantes. Algunos organismos parecían «comerse» a otros, en una lucha por la supervivencia. Unas estructuras móviles llamadas «*planeadores*» {*N. del T.: Las comillas son mías.*}. Se deslizaban por la

pantalla. Se extinguían algunos patrones, otros crecían, mientras otros mostraban una cierta periodicidad, repitiéndose después de un tiempo determinado.

Los modelos de autómatas celulares nos demuestran cómo el orden puede surgir del caos[24]. Para la mayoría de los científicos, estos modelos no son más que juguetes. Simulan, pero no duplican, la vida real. La auténtica imagen del universo es mucho más compleja. Existen, sin embargo, algunos físicos que creen que los autómatas celulares son más que unas simples simulaciones. Edward Fredkin, antiguo miembro del MIT, es el defensor más acérrimo de la teoría de que el propio universo es un autómata. Para Fredkin, es sólo una cuestión de tiempo antes de que alguien dé con el conjunto correcto de reglas para el universo. Ello constituiría una fórmula según la cual todas las estructuras que vemos hoy habrían evolucionado a partir de una fuente totalmente aleatoria de datos. Las estructuras informativas y no las partículas forman la base de todo lo que conocemos. Las partículas son simplemente patrones de información «no cero», al igual que los planeadores en el juego de la vida. Andrew Ilachinski, junto con el físico Max Dresden, ha desarrollado una variación de este tema. Según ella, el universo es un autómata topológico, un retículo en que tanto los valores locales como la geometría cambian según las reglas de los autómatas. Las partículas se consideran perturbaciones (como las ondas) en el retículo25. No está claro, en el caso de todos los modelos de autómata celular que se realizan del cosmos, cómo puede establecerse una relación con la física tal como la conocemos nosotros. Por ello, se ha dedicado poco trabajo al desarrollo de esquemas de autómata celular para el cosmos.

Lo interesante de algunos de los modelos en que el orden surge del caos es que parece violarse la segunda ley de la termodinámica. La entropía disminuye conforme los patrones van evolucionando a

partir de las formaciones iniciales aleatorias. Para explicar qué relación guardan los modelos con los sistemas termodinámicos reales, sus propiedades deben conciliarse con la ley del aumento de entropía. Es de sumo interés en la comunidad científica elaborar un medio de comprender la relación que existe entre el determinismo sin flecha al estilo de Newton, la vía descendente del aumento de entropía, y la vía ascendente de la formación de patrones.

Movimiento perpetuo

El físico Ilya Prigogine ha desarrollado un método interesante de relacionar las dos posibles direcciones de la flecha del tiempo26. Prigogine ha precisado la forma en que las fluctuaciones fortuitas pueden conducir a unos estados crecientes de orden en algunos casos, y a un desorden creciente en otros. Ha demostrado cómo unos patrones pueden surgir a partir de un comportamiento totalmente caótico.

La manera en que Prigogine describe la creación del orden a partir del caos presenta cierta analogía con la teoría de la selección natural de Darwin. Según la evolución darviniana, las especies experimentan unas fluctuaciones aleatorias que se deben a su entorno. Si no son demasiado grandes estas fluctuaciones, la especie tiende a permanecer estable. Sigue reproduciendo copias de sí misma que no tienen variaciones importantes. En algunos casos, sin embargo, las variaciones son muy grandes. Entonces existen dos alternativas: o la nueva variación se ajusta mejor al entorno que la especie original, con lo que aquélla se propagará de una forma más prolífica que ésta y entonces se dice que la especie ha evolucionado hacia una forma superior. O la variación está mal ajustada, y en consecuencia la forma mutante de la especie se extinguirá.

La clave de la descripción que ofrece Prigogine del orden que surge del azar reside en su idea de una serie de estados dispuestos por orden de complejidad. En un momento determinado cualquiera, un sistema físico, biológico o químico se encuentra en uno de esos estados y su situación es relativamente estable. Dado que una pequeña mutación genética puede no afectar de modo importante a una especie, en general una pequeña fluctuación no sacaría al sistema de ese estado. No obstante, puede llegar un momento en que una fluctuación grande (que puede ser provocada por un factor externo o deberse simplemente a las propiedades mecánicas del sistema) dé lugar a que la configuración se aproxime a otro de los estados estables. Puede que ese estado sea más complejo que el original. Además, desde el punto de vista de su entorno, puede resultar más favorable que el sistema se encuentre en el nuevo estado.

Así, la complejidad puede evolucionar de forma espontánea a partir del caos mediante un proceso evolutivo. En resumidas cuentas, lo que ocurre es que las fluctuaciones aleatorias pueden impulsar al sistema hacia nuevas «islas de estabilidad», nuevas configuraciones que son estables, aunque más complejas que los estados originales.

Para entender perfectamente el concepto de la estabilidad, es preciso comprender las complejidades de la teoría física moderna de la *mecánica cuántica.* Esta ofrece una teoría para explicar cómo los procesos pueden o bien permanecer estables, o bien desintegrarse según las condiciones. En general, los sistemas físicos tienen cierto grado de probabilidad de desintegrarse en estados de energía inferior. Entre estos momentos de desintegración, sin embargo, muchas estructuras muestran una durabilidad extraordinaria.

En ciertas circunstancias, la mecánica cuántica permite que ocurra una clase de movimiento perpetuo. Algunas configuraciones no

se desintegran en absoluto. En esos casos, existe la posibilidad de que ciertos procesos continúen eternamente hasta que los detenga un agente externo. En esas circunstancias, el tiempo deja de tener una flecha direccional. Son de un interés especial las situaciones de este tipo en el sentido de que parecen indicar que es posible, en ciertas circunstancias, la regularidad de un mecanismo de relojería inherente en el universo newtoniano.

Un buen ejemplo de lo anterior se ve en el caso de la superconductividad. En la conducción normal, los electrones son impulsados a través de un alambre. Al pasar por las impurezas, ceden parte de su energía bajo la forma de calor. El proceso obedece a la ley del aumento de entropía. Sin embargo, en algunas circunstancias puede darse la conducción perfecta. Esto suele ocurrir a temperaturas muy bajas (si bien unos experimentos recientes señalan la posibilidad de que tenga lugar la superconductividad a temperaturas normales). En este proceso, la mecánica cuántica ha requerido que los electrones atraviesen toda impureza sin ceder ni un ápice de energía. Por tanto, no aumenta la entropía. Los electrones que recorren un largo superconductor pueden continuar su viaje para siempre. Por consiguiente, experimentan una clase de movimiento perpetuo o atemporalidad.

Según parece, pues, la cuestión de la naturaleza circular o lineal del tiempo puede que tenga una respuesta sólo cuando se comprenda plenamente la mecánica cuántica. Solamente a través de la teoría cuántica sabremos entender los temas relacionados de la desintegración, la estabilidad y la fluctuación. Por tanto, la naturaleza de la forma del tiempo sigue siendo un problema por resolver.

Hemos señalado que el modelo progresivo del tiempo, al igual que los modelos circular y «pesimista», tiene sus partidarios entre la comunidad científica; y con razón en vista de que la visión progresiva del mundo ha sido la dominante durante los dos últimos siglos.

Gracias al enorme crecimiento de la teoría de la auto-organización, el modelo de la vía ascendente del tiempo ha ido consolidando sus cimientos teóricos. Tal vez la uniformidad estructural que se asocia a ciertos sistemas en los que los efectos de la mecánica cuántica producen regularidades a gran escala proporcione una base aún más amplia para apoyar este punto de vista.

En el próximo capítulo exploraremos con más detalle el concepto del tiempo sugerido por la mecánica cuántica, sobre todo en lo que se refiere al tema de la simultaneidad. Hemos concluido nuestro estudio de la *dirección* del tiempo y ahora deseamos comprender la relación de los acontecimientos dentro del propio tejido del tiempo.

Referencias

1. J. B. Bury: *The Idea of Progress,* Macmillan y Co. Londres, 1921.

2. Will Durant: *The Story of Philosophy,* Simon and Schuster, Nueva

York, 1961.

3. Voltaire: Candide, New American Library, Nueva York, 1961.

4. G. W. F. Hegel: *Lectures on the Philosophy of World History,* Cambridge University Press, Cambridge, 1975.

5. Robert L. Heilbroner: *The Worldly Philosophies,* Simon and Schuster,

Nueva York, 1953.

6. J. B. Bury: *The Idea of Progress,* op. cit.

7. Jacques Bargun: *Darwin, Marx, Wagner,* Doubleday, Garden City, Nueva York, 1958.

8. Christopher Dawson: *Dynamics of World History,* Sheed and Ward, Nueva York, 1956.

9. Stephen J. Gould: *Time's Arrow, Time's Cycle,* Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1987.

10. Ludwing Boltzmann: *Theoretical Physics and Philosophical Problems,* D. Reidel Publishing Company, Boston, 1974.

11. Herbert Spencer: *The Evolution of Society,* University of Chicago Press, Chicago, 1967.

12. H. G. Wells: *The Time Machine,* en Three Prophetic Novels, selecciona-das por E. F. Bleiber, Dover, Nueva York, 1960.

13. Herin Bergsón: *Creative Evolution,* Macmillan Publishing Co. Londres, 1964.

14. Arthur Koestler: *The Ghost in the Machine,* Macmillan Publishing Co. Nueva York, 1967.

15. P. LeCompte Du Now: *Biological Time,* Macmillan Publishing Co. Nueva York, 1937.

16. Erwin Schrödinger: *What is Life? The Physical Aspect of de Living Cell,* Cambridge University Press, Cambridge, 1945.

17. Pierre Teilhard de Chardin: *The Future of Man,* Harper and Row, Nueva York, 1959.

18. John Barrow y Frank Tipler: *The Anthropic Cosmological Principle,* Oxford University Press, Nueva York, 1986.

19. Pierre Teilhard de Chardin: *The Future of Man,* Harper and Row, Nueva York, 1959.

20. Mitchell Feigenbaum: ((Qualitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations)), *Jour. Stat. Phys.,* 19 (1978), pp. 25-29.

21. James Gleick: *Chaos,* Viking Press, Nueva York, 1987.

22. Paul Davies: *The Cosmic Blueprint,* Simon and Schuster, Nueva York, 1988.

23. J. H. Conway: sin publicar.

24. Stephen Wolfram: *Theory and Applications of Cellular Automata,* World Scientific, Singapur, 1986.

25. Paul Halpern: «Sticks and Stones: A. Guide to Structurally Dynamic Cellular Automata)), *Am. Jour, Phys.* 57 (1989).

26. I. Prigogine: Order out of Chaos –*Man's New Dialogue with Nature,* Bantam Books, Nueva York, 1984.

4

Enviando señales

El tiempo y la comunicación

Al margen de la cuestión de la *dirección* del tiempo se plantea la de su *estructura.* En el primer caso, uno pregunta: «¿Hacia dónde se dirige todo esto?», cuestión en que la palabra «esto» se refiere a la propia vida de uno, a la existencia colectiva de la raza humana, o a la duración del cosmos en su totalidad. En el segundo caso, uno limita sus pensamientos al momento presente, investigando la naturaleza de la sucesión y la duración de los acontecimientos. Aquí la pregunta adecuada parece ser la siguiente: «¿De qué manera vamos alcanzando el punto hacia donde nos dirigimos? y, ¿Nos desplazamos todos a la misma velocidad?».

Podría establecerse una analogía con los jinetes que participan en una carrera de caballos. Aquéllos podrían interesarse a veces por la naturaleza de la pista. Podrían preguntarse: «¿Es circular la pista, o es una línea recta?» O tal vez: «¿Es cuesta arriba o cuesta abajo?» Es éste el tipo de pregunta que hemos venido formulando hasta ahora en este libro.

Por otra parte, un jinete podría inquirir: «¿Estoy delante de los demás jinetes o detrás de ellos?» «¿Hay atajos en esta carrera?» «¿Puede enviar un mensaje a uno de los otros jinetes?» Estas preguntas están relacionadas con las ideas de la sucesión y la comunicación. La última parte de este libro tratará estos temas.

La comunicación es un concepto estrechamente vinculado al de la causalidad. Sin ningún tipo de comunicación, cada zona del universo constituiría su propia isla. No existiría relación alguna entre las partes que forman la totalidad. Podría afirmarse que ningún suceso influiría en los restantes.

Puede sostenerse que la comunicación tiene lugar de dos maneras. Primero, dos objetos pueden tocarse. De esta forma, uno de los dos objetos puede percibir algo del segundo. Para que esto ocurra, los dos objetos tienen que estar en el mismo sitio al mismo tiempo. Ello puede llamarse la comunicación local. La segunda posibilidad consiste en que un objeto envíe una señal a otro objeto. Los dos ocupan posiciones distintas y no entran en contacto directo. Aquí pueden distinguirse dos sucesos separados. El primero es el envío de la señal, y lo denominamos *causa.* El segundo es la recepción de la señal y el cambio resultante en el segundo objeto. A ello se le denomina *efecto.*

Consideraremos varios ejemplos del proceso. El primero es de la interacción electromagnética entre dos cargas. En ese proceso, una carga crea lo que se llama un campo electromagnético. El campo se propaga a través del espacio bajo la forma de radiación luminosa. La radiación afecta a continuación al movimiento de la segunda carga, que lleva energía electromagnética. Esta segunda carga «siente» como actúa sobre ella una fuerza nueva, que la acelera de acuerdo con las leyes del movimiento de Newton.

En ese ejemplo, está claro cuál es la causa y cuál es el efecto. Además se comprende con ello cómo la comunicación está íntimamente relacionada con la causalidad. Aquí la causa reside en la emisión de la luz, mientras el efecto reside en su recepción. El portador de la información es la radiación luminosa bajo la forma de «paquetes» de ondas. Este método de transmitir información se utiliza en comunicaciones como la transmisión radiofónica.

Existen otras formas de comunicación más lentas que la transmisión de ondas luminosas. También puede transmitirse la información por medios mecánicos, mediante las llamadas ondas mecánicas. Ondas acuáticas, ondas sísmicas y perturbaciones atmosféricas móviles constituyen ejemplos del fenómeno. La información transmitida por las ondas mecánicas de presión en un medio material como el aire o el agua se llama sonido. Las ondas sonoras son mucho más lentas que las luminosas porque dependen de la pulsación material y no de la transmisión en el vacío. Las ondas sonoras no suponen ningún intercambio de materia; antes, hay un intercambio de información mediante una sucesión de perturbaciones materiales.

El mecanismo inherente en la transmisión de ondas sonoras se parece algo a la transmisión de información para el tráfico en una autopista o autovía. Supongamos que el tráfico en un tramo de autovía es bastante denso. De repente un coche para en seco. Los conductores que van detrás del primer coche reaccionan tan rápidamente como pueden para frenar sus propios vehículos. La información retrocede lentamente a través de la cola. De esta forma la presencia de los coches que reducen su velocidad delante de cada conductor envía una señal a todos los demás vehículos en la carretera para que también reduzcan su velocidad. Cuando el primer coche arranca de nuevo, la señal viaja en la misma dirección. No se llega a intercam-

biar nada material entre el primer coche y el último, pero sí se transmite una señal mediante el movimiento de los vehículos.

Una señal radiofónica sería un medio mucho más eficaz de parar todos los coches. Supongamos que cada conductor oyera de forma simultánea el mensaje: «¡Pare su coche inmediatamente!» Todos los coches frenarían casi en seguida. La información se transmitiría de modo casi instantáneo.

Alguien que observara la escena desde arriba se sentiría sorprendido por el efecto. Tendría que sacar la conclusión de que, debido a la acción casi simultánea de los coches, se habría empleado un medio más rápido que un pulso en la cola de los vehículos. El observador deduciría que, o bien, los conductores se habían puesto de acuerdo para detenerse en un momento predeterminado, o bien se había emitido una señal radiofónica.

La mayoría de los intercambios de información en la naturaleza ocurren entre dos objetos situados en lugares distintos. Evidentemente, existe un retraso incorporado entre causa y efecto. Nadie ha descubierto todavía un medio más rápido de transmisión que las ondas electromagnéticas (es decir, las ondas sonoras, las ondas de luz visible, los rayos X, etcétera). Dicho de otro modo, no puede enviarse ningún mensaje a una velocidad superior a la de la luz en un vacío.

Con anterioridad al famoso experimento Michelson-Morley a finales del siglo XIX, se creía que todas las ondas eran materiales. Se suponía que la luz viajaba a través de una materia denominada «éter». No podía detectarse el éter y, sin embargo, llenaba todo el espacio. Del mismo modo que la velocidad de un velero depende de si viaja con, o contra el viento, se postulaba que la velocidad de la luz dependería de la dirección del flujo del éter con relación a la Tierra o, mejor dicho, la dirección del movimiento de la Tierra con relación al éter, que estaba fijo.

Michelson y Morley intentaron medir el efecto de la velocidad de la Tierra, relativa al éter, sobre la velocidad de la luz. Para su sorpresa, encontraron que la velocidad de la luz era constante; era independiente de la dirección del flujo del éter. Muy a pesar, se vieron obligados a abandonar el modelo del éter; llegaron a la conclusión de que, en realidad, la luz se propaga en el vacío y que no es en absoluto una onda material.

Su experimento fue bastante elegante por su sencillez. En su laboratorio de Cleveland, Ohio, montaron un aparato que consistía en una serie de espejos. Dividieron en dos partes un haz de luz. Los espejos reflejaron cada parte de luz, enviándola de nuevo a la fuente. El experimento se planeó de tal forma que la mitad de la luz viajara en la dirección del movimiento de la Tierra, y la otra mitad en la dirección perpendicular a dicho movimiento. Si existía un fondo de éter, se notaría una discrepancia temporal entre las velocidades respectivas de los dos haces parecida a la que existe entre los movimientos de dos veleros que salen en direcciones distintas con relación al viento. Pero el equipo no encontró discrepancia temporal alguna. Se ha repetido miles de veces el experimento, siempre con los mismos resultados negativos.

La relatividad restringida

El principio de la constancia de la velocidad de la luz, al que parecía apuntar el experimento de Michelson-Morley, chocaba con un concepto fundamental de la física clásica: el principio de la relatividad. Según este principio, todas las leyes de la física deberían ser independientes de la velocidad del observador. Las leyes del movimiento de Newton implican esta afirmación. Se recordará que de acuerdo con esas leyes, un cuerpo en reposo permanecerá en reposo, y un

cuerpo que se mueve a una velocidad constante seguirá moviéndose a la misma velocidad mientras no actúe sobre él una fuerza desequilibrada. No existe nada en la naturaleza que sirva para distinguir entre un estado de reposo y un estado de movimiento constante. En ambos casos se dice que el cuerpo está en equilibrio, condición en la que todas las fuerzas están equilibradas. Sólo si se produce una *aceleración,* que significa un cambio de velocidad o de la dirección del movimiento, podemos inferir un cambio en la condición del cuerpo.

Supongamos, por ejemplo, que jugáramos al billar en el interior de un tren. Imaginemos que el tren estuviera moviéndose en línea recta y a una velocidad constante. Mientras jugásemos, nada indicaría que el tren estaba en marcha. Las bolas de billar botarían en los bordes de la mesa exactamente del mismo modo que si no estuviera moviéndose el tren. Solamente si el tren se acelerase se notaría una diferencia del movimiento.

Surge un problema si se intenta conciliar el principio clásico de la relatividad con el concepto de que la velocidad de la luz es constante. Ello se pone de manifiesto si seguimos con nuestra analogía del tren. Según la relatividad, no debería ser posible ningún experimento que distinguiera entre un marco en reposo y un marco móvil no acelerado (donde «marco» significa «posición ventajosa»). Sin embargo, imagínese la siguiente escena:

Consideremos un tren que se mueve paralelo a un haz de luz y a la misma velocidad que ésta. Desde el marco en reposo, puede medirse la velocidad de la luz y anunciarse su valor normal. En cambio, desde el marco móvil del tren, parece que la luz no se mueve. Esto se deriva del hecho de que si dos objetos se desplazan a la misma velocidad, parece estar en reposo el uno con respecto al otro. De este modo, se obtienen dos valores distintos de la velocidad de la luz:

uno desde el marco en reposo y otro desde el marco móvil. Esto contradice el principio de la constancia de la velocidad de la luz.

Con el fin de conciliar el principio de la relatividad con el principio de que la velocidad de la luz es constante, Albert Einstein desarrolló su teoría de la relatividad restringida[1]. Hemos visto antes la teoría de la relatividad general de Einstein, que ofrece una nueva visión de la gravitación. La relatividad restringida trata la relación que existe entre dos observadores que se mueven a una velocidad constante uno con respecto al otro. Proporciona un sistema para comparar las medidas que se realizan en dos marcos distintos.

En la relatividad restringida, se abandona la idea del espacio y del tiempo absoluto. A diferencia del sistema newtoniano, el desplazamiento espacial considera que *depende de* la velocidad del observador. Lo mismo se aplica a la duración temporal. Dicho de otro modo, un observador que viajara en un marco móvil percibiría que el tiempo fluía a una velocidad distinta de la que percibiría un observador en un marco elástico con respecto a la Tierra. Los observadores también medirían de una forma diferente las distancias espaciales.

Ya hemos señalado que Einstein era partidario de una amalgama del espacio y del tiempo denominada espacio-tiempo. Aquí vemos como la relatividad restringida borra la distinción newtoniana entre el espacio y el tiempo. Si un observador que está sentado en un marco fijo con respecto a la Tierra contempla una serie de acontecimientos que ocurren en un marco móvil, el intervalo entre los acontecimientos parece más pequeño de lo que el observador esperaría. Por ejemplo, los relojes parecerían correr más despacio en el marco móvil. Por otra parte, las distancias espaciales en el marco móvil, vistas desde el marco en reposo, parecen más cortas. Una vara métrica situada en el marco móvil parecería medir menos de 100 centímetros.

En resumen, un marco que se mueve a una velocidad constante con relación a otro marco sufre un desplazamiento en el *espacio-tiempo.* Las distancias espaciales son más cortas y las duraciones temporales, más largas. La única distancia que permanece igual es la distancia en el *espacio-tiempo.* Aquí el espacio y el tiempo se sitúan casi en pie de igualdad. La única diferencia que existe entre un desplazamiento espacial y otro temporal reside en que una distancia de tipo espacial se considera *real* y una distancia de tipo temporal se considera *imaginaria.* Utilizamos el término «imaginario» en un sentido matemático preciso; un número imaginario es la raíz cuadrada de un número real negativo. No es necesario captar matemáticamente esta distinción; para que comprendamos el tema, basta con que nos demos cuenta simplemente de que el espacio y el tiempo no se tratan exactamente de la misma forma en la relatividad; pero sí existe, no obstante, una relación íntima entre los dos conceptos.

Exploremos algunas implicaciones de la teoría de la relatividad restringida. En primer lugar, la relatividad implica cierta afinidad entre el espacio y el tiempo. Algunos filósofos y científicos, especialmente los que se sienten atraídos por el concepto del tiempo tal como lo presentamos en el primer capítulo, se han valido de esa relación para defender la «geometrización» o la «especialización» del tiempo: la idea de que el universo debe representarse como un conjunto estático y tetradimensional. Otros han señalado que, puesto que en la relatividad no se ponen del todo en pie de igualdad el tiempo y el espacio, la idea del tiempo que fluye, o lineal, todavía tiene sentido. Sigue siendo posible ver en el universo un objeto tridimensional en evolución.

Estas cuestiones guardan relación con el tema que hemos venido tratando en los últimos capítulos, es decir, el debate sobre si el tiempo tiene o no una dirección. La idea de considerar al espacio y al

tiempo como una sola entidad es viciada para los partidarios de un punto de vista evolucionista. ¿Cómo podría ocurrir la evolución o la regresión si el universo fuera un objeto completamente determinado de espacio-tiempo?

Otro tema fundamental es la cuestión de la uniformidad del flujo del tiempo. ¿Cómo podemos medir de forma objetiva el flujo del tiempo (en el supuesto de que el tiempo fluya) si cada objeto en el universo contiene su propio reloj que corre a un ritmo distinto según la velocidad relativa del objeto? La respuesta es que no podemos. Nadie puede pretender que un reloj concreto señale la hora objetivamente correcta.

Así cuando hablamos del flujo del tiempo del universo en su totalidad, debemos tener presente ahora que éste consiste en un mosaico de un sinfín de relojes que corren a ritmos distintos. Ninguno de esos relojes mide la hora correcta del universo. Podemos hablar de semejante hora, pero no podemos fijar directamente su valor local.

¿Significa todo esto que, en realidad, no puede decirse que el tiempo fluya? No necesariamente, dado que la teoría de Einstein enfoca meticulosamente la relación entre causa y efecto. Si el suceso A sigue al suceso B en un marco específico, aquel debe seguir a éste en todos los marcos móviles. Puede que el tiempo que transcurre entre los dos sucesos no esté fijo, pero sí que lo está el orden. El garante de la conservación de la dirección de la causalidad es el principio de que la velocidad de la luz constituye el límite de velocidad del universo. De no ser así, la sucesión de acontecimientos podría verse de modo distinto en marcos temporales diferentes. Por consiguiente, a pesar de que el ritmo del flujo temporal podría ser distinto para varios observadores, la dirección debe permanecer fija. (Existe una teoría para el caso de las partículas que viajan a una velocidad mayor

que la luz y que, por tanto, violan la causalidad, pero es sumamente especulativa.)

El hecho de que en ningún caso la velocidad de un objeto puede rebasar la de la luz tiene implicaciones profundas para el proceso de la comunicación. Las señales deben viajar a una velocidad finita. Por tanto, no puede existir ninguna relación causal entre sucesos que tienen lugar a una distancia suficientemente grande uno del otro. La distancia es la que la luz no puede recorrer en un tiempo determinado. Por ejemplo, si dos acontecimientos ocurren en un intervalo de un segundo y si la distancia entre los acontecimientos es mayor que un segundo-luz (la distancia que la luz puede recorrer en un segundo), dichos acontecimientos no pueden tener bajo ningún concepto una relación causal. En otras palabras, un acontecimiento no puede ser la causa del otro, porque la información no puede pasar de un acontecimiento al otro en el tiempo supuesto.

Se pueden dibujar diagramas (llamados «diagramas Minkowski») de las circunstancias en las que dos sucesos pueden y no pueden tener una relación causal.

Un diagrama Minkowski consiste en dos ejes marcados «espacio» (horizontal) y «tiempo» (vertical). En este diagrama se trazan dos líneas cruzadas que se intersecan en el cruce de los ejes del tiempo y del espacio y que representan las trayectorias que sigue la luz desde un acontecimiento determinado. En un vacío, la luz siempre sigue una trayectoria recta a una velocidad constante; por tanto, puede trazarse su itinerario en un diagrama Minkowski bajo la forma de un conjunto de líneas rectas entrecruzadas de inclinación constante (3×10^8 m/segundo). Así, la velocidad de las trayectorias por encima de, y entre, las líneas entrecruzadas sería inferior a la de la luz, mientras la velocidad de las trayectorias por debajo de, y junto a, las líneas serían superior a la de la luz.

Veamos a continuación cómo puede utilizarse el diagrama para determinar si dos sucesos pueden o no estar relacionados causalmente y comunicados entre sí. Considérese que un suceso se sitúa en el punto de intersección de los ejes (el origen). Si el segundo suceso se marca encima de, y entre, las líneas entrecruzadas, se dice que la relación entre los sucesos es de *tipo temporal.* Ello significa que es perfectamente posible que una señal viaje de un suceso a otro porque esta clase de señal tendría una velocidad menor que la de la luz. Por el contrario, si el segundo suceso se marca debajo de, y junto a, las líneas, sólo es posible una relación de *tipo espacial.* Esto significa que ninguna señal física podría recorrer la distancia entre los dos sucesos, puesto que la señal tendría que ser más rápida que la luz. Así, el diagrama Minkowski ofrece un medio visual de distinguir entre la comunicación más lenta que la luz, la cual es factible, y la comunicación más rápida que la luz, la cual se cree imposible.

Vamos a volver a nuestra analogía de la autopista para explorar a fondo el hecho de que la comunicación tiene un límite de velocidad, a saber, el de la luz. Imaginemos un grupo de coches de la policía distribuidos a lo largo de una autopista. Cada coche está dotado de un transmisor y un receptor radiofónicos. Supongamos que el conductor del coche que va a la cabeza decide que todos los coches paren en seguida. Este conductor transmite el mensaje al siguiente, quien comunica inmediatamente el mensaje al más próximo. Cada conductor recibe al fin una señal transmitida en el sentido de que pare su coche. Supongamos que cada vehículo posee un mecanismo de frenado impecable que detiene automáticamente el coche nada más recibir el mensaje radiofónico. Imaginemos también que los mensajes pasan automáticamente de un coche a otro.

Lo que ocurriría, una vez transmitido el mensaje, es que todos los coches de la policía parecerían detenerse en seguida. No obstante,

una medición esmerada del tiempo en que se ha parado cada vehículo revelaría que no es así. Debe hacer un desfase entre los coches debido al hecho de que la señal viaja a una velocidad finita, a saber, la de la luz.

Ahora bien: supongamos que, efectivamente, todos los coches paran al mismo tiempo. Debemos suponer que se le ha dicho *con antelación* a cada coche que tiene que parar en el momento preestablecido. Dicho de otro modo, la información no puede desplazarse más rápido que la velocidad de la luz, si bien *puede* darse la simultaneidad siempre y cuando se prepare de antemano.

La cuestión de la simultaneidad tiene una importancia fundamental a la hora de tratar los fenómenos de la mecánica cuántica. Esta que se desarrolló a principios de siglo, ha resultado ser una teoría excelente de la física atómica y subatómica. Como hemos visto, los sistemas cuánticos pueden tener un grado extraordinario de organización, que puede conducir a la formación espontánea de patrones. En muchos casos, parece ocurrir el movimiento sincrónico, comportamiento en que la información parece viajar más rápido que la luz. Vamos a ver cómo la teoría de la mecánica cuántica parece indicar la posibilidad de la comunicación más rápida que la luz.

La mecánica cuántica y la comunicación

Según el difunto Richard Feynman, el físico americano que contribuyó notablemente a simplificar y a popularizar la teoría cuántica, la clave para comprender la mecánica cuántica es el experimento de la doble rendija, «fenómeno que es de todo punto imposible de explicar en términos clásicos y que contiene el núcleo de la mecánica cuántica»2. Este famoso experimento ilustra el rasgo esencial de la mecánica cuántica: es decir, la anulación de la dicotomía que existe entre on-

das y partículas, entre mensaje y remitente, y entre experimento y experimentador.

El experimento de la doble rendija consiste en una pantalla con dos agujeros que sirve de barrera. A cierta distancia de esta pantalla hay otra que sirve de detector. También hay una fuente que suministra las partículas subatómicas llamadas electrones.

Fíjese bien en que denominamos *partículas* a los electrones. Junto con los protones y los neutrones, los electrones son componentes de los átomos, los cuales, a su vez, son los constituyentes del mundo natural. De forma tradicional, se ha señalado un contraste entre partículas y ondas: las partículas forman el mundo material y las ondas son perturbaciones que transportan la energía a través de la materia o el espacio. Las partículas se consideraban cuerpos sólidos de tal forma que, sí dos partículas llegasen a chocar con un detector en el mismo punto, dejarían una huella dos veces mayor que la de una sola partícula. Por el contrario, las ondas se consideraban algo menos que sólidas: dos ondas que hicieran impacto en el mismo sitio podrían anularse mutuamente debido al fenómeno llamado indiferencia.

El experimento de la doble rendija borra la distinción entre partículas y ondas. Imaginemos que un torrente de electrones emana de la fuente y se dirige hacia las dos rendijas. Evidentemente, existen dos posibilidades: los electrones pueden pasar por una rendija o por la otra. Supongamos que se registren en la pantalla detectora los impactos de los electrones. Al realizar este experimento se encuentra con que, en lugar de la imagen puramente acumulativa que se esperaría en el caso de las cosas materiales corrientes, aparece un dibujo de interferencia ondulatoria. En el centro del detector, lejos de apreciarse una gran serie de huellas, no se aprecia ni una sola. Los impactos de los electrones se anulan. Este resultado es extraordinario en

vista de que los electrones se consideran de forma tradicional partículas y no ondas. Es un resultado que podría esperarse en el caso de la luz o el sonido, pero no en el de las partículas.

Supongamos que se tapara una de las rendijas. Así, los electrones podrían pasar por una sola y no por la otra. Para nuestra sorpresa, descubriríamos que ya no se daba ningún dibujo de interferencia en absoluto. Al modificarse el aparato, la naturaleza de los electrones parece haberse transformado de ondas en partículas. Si luego se destapara la segunda rendija, aunque se hiciera mientras el electrón viajase entre las pantallas, la imagen producida por el detector volvería a mostrar un dibujo ondulatorio ¡La información de que está abierta la segunda rendija parece comunicarse de forma instantánea a los electrones!

Los dibujos de interferencia trazados en el detector reflejan un desconocimiento de a través de cuál de los dos agujeros han pasado los electrones. Lo curioso es que si se construye un mecanismo con el fin de determinar la rendija en la que han entrado los electrones, el dibujo de interferencia desaparece de nuevo. La interacción que existe entre el experimentador y el aparato cambia de inmediato la naturaleza del electrón de onda en partícula.

La propiedad que tiene una partícula de poseer también una naturaleza ondulatoria se denomina dualidad onda/partícula. Constituye la base de la teoría cuántica moderna, pero sigue siendo un profundo misterio. La explicación normal de este fenómeno, llamada interpretación de Copenhague, todavía suscita polémica más de medio siglo después de que fuera propuesta.

Según el enfoque de Copenhague, todas las partículas pueden entenderse como entes denominados funciones ondulatorias. Estos ofrecen una imagen probabilística de dónde está localizado un objeto como un electrón. En el experimento de la doble rendija, la función

ondulatoria es sensible al hecho de que existen dos posibilidades y, por consiguiente, aparece en la pantalla detectora bajo la forma de un dibujo de interferencia. (Lo que se ve en realidad es una distribución de probabilidad, la cual resulta ser el cuadrado de la función ondulatoria.)

Cuando un científico realiza una medición, se dice que la función ondulatoria «se colapsa», en uno de sus valores correspondientes a esa cantidad concreta. Podemos considerar, a modo de ejemplo, un electrón en el experimento de la doble rendija. Antes de medirse la posición del electrón, existe una probabilidad de que éste se encuentre en cualquier lugar dentro de una gama determinada de locaciones. La distribución de probabilidad del electrón comprende ambas rendijas, como si parte del electrón pasara por cada rendija. Después de calibrar la posición del electrón, se colapsa la función ondulatoria. Esto significa que su posición tiene un valor fijo. De modo que si se consigue determinar por cuál de las rendijas pasó el electrón, la distribución de probabilidad de éste equivale a la de una partícula que pasa por una sola rendija. Observen aquí que el experimentador ejerce un efecto profundo en la función ondulatoria. El efecto es instantáneo: no puede decirse que el colapso de la función ondulatoria emplee tiempo alguno.

Einstein se sentía profundamente preocupado por las implicaciones de la interpretación de Copenhague. Su famosa frase, «Dios no juega a los dados con el universo», revela el rechazo que le producía la introducción de unos conceptos puramente probabilísticos en el marco de la física atómica. Para muchos, la frase de Einstein constituye otro de sus grandes desaciertos. (Su primer gran error fue suponer que el universo es estático; véase el primer capítulo.)

Einstein esperaba que al señalar las paradojas de la teoría cuántica, podría preparar el camino para un enfoque determinista del

tema. Colaborando con Boris Podolsky y Nathan Rosen, Einstein dio con una aparente discrepancia en las leyes de la mecánica cuántica. Aunque Niels Bohr supo refutar este «experimento mental», una versión ampliada del problema desarrollada por David Bohn constituye un estudio interesante de la naturaleza esquiva de la mecánica cuántica.

En el mencionado experimento mental, llamado a veces la paradoja del espín, se explota una propiedad especial de las partículas elementales para arrojar una conclusión interesante. La propiedad, denominada espín, representa un componente del así llamado momento angular de los cuerpos subatómicos. En términos generales, el espín es la orientación de la partícula con respecto a un campo magnético externo. Para un electrón, el espín puede poseer uno de dos valores posibles $(\pm 1/2)$. Podemos hablar de un espín hacia arriba o de un espín hacia abajo, donde cada uno corresponde a un valor distinto.

Imaginamos aquí un par de electrones asociados uno al otro en un estado «singlet». Esto significa simplemente que uno de los electrones tiene un eje de espín inclinado hacia arriba y el otro, un eje inclinado hacia abajo. El estado «singlet» puede crearse fácilmente en el laboratorio. Nos representamos ahora la desintegración de ese estado. Uno de los electrones sale en una dirección y el otro, en sentido contrario. Sin embargo, un electrón gira inclinado hacia arriba mientras el otro gira hacia abajo; simplemente no sabemos cuál es cuál.

Se han colocado detectores a cada lado del aparato para registrar el espín de los electrones. El detector de la izquierda está orientado de tal manera que reciba las señales de los electrones de un solo tipo de espín, digamos «hacia arriba». De acuerdo con la teoría cuántica, el otro detector debe recoger los electrones con la otra inclinación de

espín. (Habrá una distribución, y el espín con mayor probabilidad será «hacia abajo».)

Supongamos que el detector de la izquierda se invierta de repente. Ahora resulta que acepta sólo los electrones cuyos ejes se inclinan hacia abajo. Cosa extraordinaria, el otro detector recogerá inmediatamente los electrones cuyos ejes se inclinan hacia arriba. La transición será instantánea, como si la información se transmitiera en seguida de un electrón al otro.

Aquí parece haber una paradoja preocupante. ¿Cómo puede saber de forma inmediata, uno de los electrones la orientación del eje del otro electrón incluso si los dos se han separado y si no puede intercambiarse ninguna información en absoluto? Ahí está el enigma de la versión de Bohn de la paradoja EPR (Einstein Podolsky-Rosen).

La resolución convencional del enigma reside en la falta esencial de localidad de la mecánica cuántica. En la imagen cuántica del mundo, no se puede hablar verdaderamente de dos partículas separadas. Antes debe imaginarse que todas las partículas que participen en una interacción se pueden considerar una sola función ondulatoria. Esta función representa la cantidad fundamental que describe la naturaleza, ya no se puede hablar de la posición y de la velocidad como las medidas naturales básicas. En otras palabras, no se puede esperar construir una imagen completa de la realidad en ningún momento determinado. Tan sólo pueden inferirse algunas propiedades de la función ondulatoria, pero no todas las posiciones y velocidades de las mismas partículas. Por tanto, no se puede hablar de la interacción entre dos partículas como si éstas estuvieran totalmente separadas. Las partículas constituyen más bien dos «bultos» en el gráfico de la distribución de probabilidad de una sola función ondulatoria.

Huelga decir que aquella resolución de la paradoja no ha conseguido satisfacer plenamente a todos. Para algunos científicos, el ex-

perimento es en realidad una demostración de la comunicación supralumínica. Ellos afirman que la información se va transmitiendo de una partícula a otra a una velocidad mayor que la de luz. Este concepto de «la acción a distancia» suplantaría claramente la teoría de Einstein de la relatividad restringida si fuera posible enviar la información a semejante velocidad.

Algunos físicos están intentando crear unos mecanismos mediante los cuales los mensajes pudieran transmitirse a una velocidad superior a la de la luz. En estos proyectos, un experimentador controlaría un detector, utilizándolo para enviar información a otro experimentador con otro detector. La mayoría de los teóricos cuánticos dudan que sea posible esta clase de comunicación instantánea. El problema es que, en la mayor parte de los proyectos, es preciso comparar los resultados de los dos detectores con el fin de apreciar una correlación entre dichos resultados. Este procedimiento de verificación constituye un tipo de comunicación más lenta que la velocidad de la luz. Por consiguiente, el proceso entero se realiza a velocidades sublumínicas.

La diferencia básica entre el experimento de la paradoja del espín y los tipos corrientes de comunicación reside en el concepto de la causalidad. En un sentido estricto, el hecho de que un electrón tenga un espín inclinado hacia arriba no es la causa de que el otro tenga un espín inclinado hacia abajo; éstos son simplemente unos sucesos necesarios aunque coincidentes. Sí que resulta de ahí que los espíns deben ser contrarios, pero no se trata de causa y efecto. Ambos electrones proceden de una fuente común, fuente que por casualidad contiene un electrón con cada tipo de espín.

Es como si se sacaran dos zapatos de la misma caja. Si se sabe que uno de los zapatos corresponde al pie izquierdo, es evidente que el otro zapato corresponde al pie derecho. No es éste un caso de causa

y efecto; se trata simplemente de que no existen otras posibilidades. (¡A menos que el dependiente haya cometido un grave error, por supuesto, pero esto no viene a cuento!)

En nuestra analogía de los coches de la policía, en la que se le ordena a una fila de coches que pare en un momento predeterminado, encontramos otro ejemplo donde la simultaneidad podría ocurrir sin comunicación. De ser así, no se enviaría ninguna señal de un coche a otro. De este modo, no podría decirse que hubiera habido comunicación.

Parece que este tipo de lógica excluye la posibilidad de utilizar unas variaciones de la paradoja del espín como mecanismo de comunicación. Aún y con todo, algunos investigadores, en el campo de las medidas cuánticas, afirman que es teóricamente posible en ciertas circunstancias enviar un mensaje sin demora alguna. Una ponencia escrita en 1987 por los físicos de la India, Dipankar Home, Amitava Raychaudhuin, y Amitara Datta anunciaron que se había franqueado la barrera de la velocidad de la luz3. Si bien la mayoría de los científicos permanecen escépticos al respecto, puede que existan algunos motivos de esperanza. Algún día, tal vez, la teoría cuántica hará posible realizar conversaciones telefónicas a través del cosmos.

La sincronía

Es difícil justificar cualquier intento de atribuir el comportamiento sincrónico de que hace gala la paradoja del espín a una relación causal entre las dos partículas. Por el contrario, algunos teóricos han afirmado que dicho comportamiento es el resultado de una relación acausal. La idea de que puedan existir las relaciones acausales constituye el distintivo del sistema de creencias, denominado sincronía, desarrollado por el psicólogo Carl Jung. Jung se inspiró en las obras

de los físicos cuánticos para construir una teoría sobre las creencias significativas: es decir, los llamados acontecimientos fortuitos que están relacionados de una manera reveladora. Para Jung la sincronía era un complemento de la causalidad que podía aplicarse a los casos en que el determinismo (los vínculos causales que unen los sucesos) no sea un enfoque válido:

«El principio filosófico que sirve de base a nuestra concepción de las leyes naturales es la causalidad. Pero sí la relación que existe entre causa y efecto resulta ser válida sólo en términos estadísticos, y cierta sólo en términos relativos, el principio causal sólo sirve relativamente para explicar los procesos naturales; por consiguiente, supone la existencia de otros factores que serían necesarios para servir de explicación. Esto equivale a decir que, en ciertas circunstancias, la relación que existe entre los sucesos puede ser distinta de la causal y requiere otro principio de explicación.»[4]

Jung veía episodios en su propia vida en los que era difícil achacar a la pura casualidad ciertas relaciones entre los sucesos. Un día, por ejemplo, Jung experimentó una sucesión de acontecimientos en que intervino la imagen de peces:

«*Apunté lo siguiente el día 1 de abril de 1949: Hoy es viernes. Almorzamos pescado. Alguien menciona por casualidad la costumbre de hacer de una persona un "pez de abril"... Por la tarde una antigua paciente mía, a quien hacía meses que no veía, me enseñó unos cuadros muy impresionantes de peces que había pintado durante ese tiempo. Por la noche me enseñaron un bordado de monstruos marinos con forma de peces... Por aquel entonces yo estaba ocupado con un estudio sobre el símbolo del pez en la Historia.*»

Al despertar su interés los ejemplos brindados por su propia vida y por la de sus pacientes, Jung estudió de forma sistemática lo que se llaman fenómenos paranormales o parapsicológicos. Sostenía que,

en muchos casos, la casualidad no era suficiente para explicar ciertos sucesos improbables.

El término «sincronía» hizo su primera aparición en una conferencia pronunciada por Jung sobre el tema del I Ching, el antiguo libro chino de los cambios. En aquel discurso, que tuvo lugar en 1930, relacionó el concepto de la coincidencia significativa con el método de hacer previsiones expresado en el I Ching. Afirmó que la causalidad era una creación occidental y que la filosofía teísta de China se basaba en un concepto alternativo de la relación que existe entre los acontecimientos.

A pesar de que Jung pronunció el vocablo «sincronía», varias veces en sus conferencias públicas durante los años treinta y cuarenta, no fue hasta 1951 cuando explicó con gran lujo de detalles lo que resultaría ser un conjunto de creencias muy polémicas. En una conferencia corta pronunciada aquel año ante un público en Ascona, Suiza, perfiló su teoría de la «asociación acausal». Al año siguiente, a la edad de 77, Jung publicó su primer y único manuscrito sobre ese concepto y se titulaba «La sincronía: un principio de relación acausal».

La monografía fue el resultado de una colaboración breve, aunque fructífera, entre Jung y Wolfgang Pauli, uno de los cerebros más brillantes de la teoría cuántica. Dio la casualidad de que cada uno tenía algo que ofrecer al otro. Pauli, que sufría problemas psicológicos relacionados con su incapacidad de dedicarse de forma satisfactoria a pasatiempos fuera del reino de la física pura, recurrió a Jung en busca de psicoanálisis e interpretación de sueños. Al concluir su terapia, Pauli correspondió prestando su ayuda al programa de Jung. Jung vio en Pauli una persona que podría proporcionar unos cimientos físicos y matemáticos sólidos para la teoría de la sincronía; sospechaba que, de una forma u otra, la teoría de la mecánica cuántica so-

bre la acción a distancia estaba relacionada con la idea de la coincidencia significativa. Creía que Pauli podría contribuir a aclarar los paralelismos.

Jung percibía unas afinidades entre la dualidad partícula/onda de la mecánica cuántica y la dualidad entre la mente inconsciente y consciente. Le fascinaba la idea de que los pensamientos y los sucesos podrían relacionarse imprevisiblemente al estilo de la relación invisible que existía entre los electrones en el experimento de la paradoja del espín. ¿Quizá las distancias temporales y espaciales no sirven de barreras a la comunicación instantánea dentro del subconsciente?

Es interesante comparar esta idea con el concepto del tiempo onírico de los aborígenes australianos, es decir, un tiempo y un espacio en que ocurren los sucesos de nuestros sueños. También podrían encontrarse analogías con la idea del tiempo sagrado de Eliade, tiempo en que se desarrollan los sucesos mitológicos. En la perspectiva junguiana, los sueños y los mitos representan eslabones con unos arquetipos universales compartidos. Las relaciones parecen trascender al espacio y al tiempo normal.

Las ideas de Jung siguen levantando polémica y no han tenido una acogida favorable en el campo de la psicología. Tampoco han provocado excesivo diálogo entre la física y la psicología; por otra parte, las relaciones que tanto esperaba encontrar Pauli entre la mecánica cuántica y el estudio de la mente no han llegado a producirse de una manera significativa. Los experimentos parapsicológicos sobre los que Jung fundamentó su teoría de la sincronía parecen carecer de toda importancia estadística a los ojos de la mayoría de los investigadores de este campo.

Aunque la PES {*N. del T.: Percepción extra-sensorial.*}, la telequinesia, la clarividencia y cosas por el estilo no existan en absoluto, es de

sumo interés estudiar la naturaleza de la comunicación mental y del tiempo psicológico. El funcionamiento de la mente es aún poco comprendido. Existen muchos casos bien documentados en los que tienen lugar unas formas misteriosas de comunicación mental interior y exterior. La ciencia mental moderna encuentra difícil explicar semejantes acontecimientos.

Un enigma que sigue desconcertando a la mayoría de los científicos es el caso de los llamados calculadores humanos, o sabios autistas (denominados anteriormente sabios idiotas). A pesar de que lo incapacita su inhabilidad de comunicar de una manera normal y carece en muchos casos de las habilidades mentales básicas, este extraordinario grupo de personas, posee un don excepcional para hacer cálculos a una velocidad que puede a veces igualar incluso la de los ordenadores. Muchos miembros de este grupo tienen dificultades con las matemáticas básicas corrientes pero saben realizar hazañas como la de sacar la raíz cuadrada de un número de cien cifras. Es difícil describir la forma en que estos procesos mentales tienen lugar.

Consideremos el caso de los gemelos –dos sabios autistas– bien documentados por el eminente neurólogo Oliver Sacks. El doctor Sacks deja constancia de su asombro tanto ante las habilidades matemáticas increíbles de estos gemelos como ante la manera en que realizan sus cálculos sorprendentes. Por ejemplo, sabía determinar de forma casi instantánea el día de la semana correspondiente a cualquier fecha durante los últimos o próximos 40.000 años, y parecían trabajar en armonía con el fin de llevar a cabo este algoritmo mental misterioso. Trabajando también en armonía, conseguían contar inmediatamente una cantidad de fósforos que se tiraban al suelo. No obstante, siempre que se les separaba, parecían perder esta habilidad. El doctor Sacks recuerda su segundo encuentro con los gemelos:

«Parecían estar inmersos en un intercambio singular y totalmente numérico. John decía un número –un número de seis cifras. Michael captaba este número, asentía con la cabeza, sonreía y parecía saborearlo. Entonces él, a su vez, decía otro número de seis cifras, y luego era John quien lo recibía y los paladeaba con fruición... ¿Qué estaban haciendo?

Nada más llegar a casa, saqué una tabla de potencias, factores, logaritmos y números primos... Yo tenía una corazonada, y ahora la confirmé. Todos los números –los números de seis cifras– que intercambiaban los gemelos eran primos, es decir números que no son divisibles por ningún otro, excepto por sí mismos o por uno... No existe ningún método sencillo para números primos de este orden –¡y, sin embargo, los gemelos lo hacían!»[5]

El método que empleaban los gemelos para «computar» sus resultados asombrosos es verdaderamente desconocido. Parece que el cerebro humano contiene unos mecanismos que pueden realizar cálculos aparentemente instantáneos. Es un asunto muy controvertido si estos mecanismos obedecen a una forma holista de pensar o simplemente a un algoritmo avanzado que está todavía más allá de nuestro entendimiento.

Es probable que incluso los cálculos rápidos se realicen a una velocidad muy inferior a la de la luz. Este también es el caso de los ordenadores electrónicos. Las máquinas que dependen de los impulsos eléctricos para transmitir información se ven limitadas por la velocidad sublumínica del electrón, la cual restringe su tamaño. Un ordenador electrónico no puede ser tan grande que exista un desfase importante entre sus componentes, porque ello, reduciría enormemente la velocidad de los cálculos.

Se está trabajando intensivamente para desarrollar una generación de computadores basados en la comunicación *óptica:* es decir, utilizar la luz para transmitir mensajes. La óptica de las fibras ofrece una pléyade de nuevas oportunidades para la propagación rápida de

información, pues en este caso las señales viajan a la velocidad de la luz. Con la transmisión óptica de los impulsos, los computadores podrían ser mucho más grandes y más rápidos.

Para superar a la comunicación óptica, tendrían que inventarse unos mecanismos supralumínicas. Evidentemente es muy polémico si semejantes ingenios son factibles. Parece existir, sin embargo, la posibilidad de movimiento sincronizado a gran escala. Este movimiento, permitido por la teoría cuántica, tendría lugar de forma instantánea.

Quizá pueda explotarse este enfoque para desarrollar la comunicación instantánea a pequeña escala, a saber, a escala de los ordenadores.

Cuando se ensanchen nuestros conocimientos, tal vez incluso la mente humana se comprenda perfectamente algún día. Como Jung ha señalado, mucho de lo que ocurre en la mente parece burlar la ciencia tradicional. Es muy posible que la sincronía y no la causalidad sea el principio activo que rige la inteligencia humana6. Es de gran interés explorar las relaciones que existen entre el tiempo exterior –el tiempo tal y como lo miden los relojes del mundo exterior– y el tiempo psicológico, es decir el tiempo de los recovecos ocultos de nuestra mente.

Referencias

1. Albert Einstein: *Relativity,* Crown Publishes, Nueva York, 1961.

2. Richard Feynman, Robert Leighton y Mathew Sands: *The Feynman Lectures on Physics,* Vol III, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1981.

3. Dipankar Home, Amitara Raychauldhuri y Amitara Datta: «A Curious Gedanken Example of the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox

Using CP Nonconservation», *Phys. Lett.* A, vol, 128 (1987), pag. 4.

4. C. G. Jung: *Synchronicity*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1973.

5. Oliver Sacks: *The Man who Mistook His Wife for a Hat*, Summit Books, Nueva York, 1985.

6. F. David Peat: Synchronicity: The Bridge between Matter and Mind, Bantam Books, Nueva York, 1987.

5

Atajos

El flujo del tiempo

Cuando apareció por primera vez la teoría de la relatividad restringida de Einstein, tuvo un impacto enorme y sin precedentes sobre el público en general. Ninguna teoría de la física moderna había conseguido encender en la misma medida la imaginación popular. En cierto sentido, la afirmación de que los relojes correrían a una velocidad diferente para observadores diferentes encajó bien en un ambiente generalizado de franqueza y de relatividad «social y psicológica». Se acogió como una confirmación de lo que muchos «sabían» que era cierto: que no se puede juzgar a los demás según los criterios de uno mismo.

Los primeros años de este siglo fueron testigos de una ruptura clara con la represión social de la época victoriana, y las teorías psicológicas de Sigmund Freud indicaron el camino hacia una nueva apreciación de la complejidad de la mente humana. Para muchos, Freud representaba una clase de liberación de los moldes sociales rígidos y las costumbres anticuadas. La obra de Einstein también se prestaba a esta filosofía de la libertad social, pues muchos interpreta-

ban la teoría de la relatividad como un documento que promovía un principio de relativismo social según el cual debería permitírsele a todo el mundo perseguir sus propias metas.

Además, se consideraba que el programa explícito de Einstein —el de demostrar que el tiempo no fluye a la misma velocidad para todos— se ajustaba a un sentido intuitivo de que los relojes mentales interiores funcionan de un modo totalmente distinto al de los relojes que tenemos en nuestra pared. Efectivamente, el tiempo parece fluir de una forma diferente en circunstancias diferentes. Para los jóvenes, parece fluir más despacio que para los ancianos. También parece ser cierto que, cuando uno se aburre, el tiempo se arrastra a paso de tortuga y, cuando se está ocupado y a gusto, el tiempo pasa volando. Quizás la teoría de Einstein pueda explicar este fenómeno.

Desafortunadamente, no puede ni empezar a explicarlo. Este hecho indica una de las flaquezas de todas las teorías físicas modernas sobre el tiempo: ¿Cómo puede introducirse en la imagen el concepto psicológico del tiempo? La teoría del tiempo de Einstein se limita a describir la manera en que se mueven los relojes en varias circunstancias. No puede utilizarse para justificar idea alguna sobre la psique humana.

El misterio fundamental en cuanto a la naturaleza del tiempo consiste en que parece fluir hacia el futuro. Es difícil caracterizar esta sensación visceral que todos tenemos y según la cual los acontecimientos van pasando. No podemos especificar a dónde va el mundo que nos rodea, porque se desmorona y vuelve a organizarse a cada instante. ¿Pueden compararse nuestras experiencias temporales a la acción de ver una película: ya se ha escrito el guión y los sucesos ya se han representado; sólo nos queda ver la película de los acontecimientos? ¿O no son sino ilusiones incorpóreas el pasado y el futuro? En otras palabras, ¿estamos construyendo el futuro y desmantelando

el pasado, o simplemente observamos una serie predeterminada de acontecimientos?

La respuesta corriente que dan los físicos a esta clase de preguntas consiste en señalar la ley de la entropía en tanto que fuerza motriz que impulsa el flujo psicológico del tiempo. Observamos el flujo del tiempo debido a la percepción de que los sucesos pueden ocurrir en una sola dirección. Como recordaremos, Hawking ha argumentado que el tiempo psicológico debe correr en la misma dirección que el tiempo entrópico.

Es evidente para todos que ciertas sucesiones de acontecimientos no pueden ocurrir en cierto orden. Por ejemplo, nunca se vería un montón de arena disponerse de modo espontáneo en forma de un castillo pero sí podría observarse un castillo que se quedara reducido por los estragos del tiempo a un montón de arena. La mente humana distingue de una forma natural entre las experiencias entrópicas y antientrópicas. Esperamos que el desorden aumente, no decrezca.

Resulta difícil, no obstante, equiparar esta percepción del desorden creciente con la sensación visceral de que el tiempo fluye hacia adelante; es casi seguro que las dos sensaciones tengan orígenes diferentes. Si uno pasara varias horas sentado solo en un bosque, todavía tendría la sensación de que pasaba el tiempo aunque no ocurriese ningún cambio irreversible y visible (la caída de árboles, etc.) durante ese período.

En cambio, de no existir la desintegración ni el cambio, el tiempo carecería de todo sentido. Si uno se viera condenado a pasar la eternidad en una habitación solitaria pintada de blanco y sin ninguna forma posible de diversión, no tendría sentido distinguir un momento del siguiente. En semejante situación, el tiempo no tendría flecha. Y, sin embargo, la auténtica pesadilla de la situación se basaría en el hecho de que el tiempo seguiría pasando. El condenado tendría que

experimentar un número infinito de instantes indistinguibles, uno por uno. De este modo, debe reconocerse que el tiempo psicológico interior continuaría fluyendo, aunque se negaran todas las flechas convencionales del tiempo.

Tal es la tesis del filósofo Adolf Gruenbaum; es decir, que puede distinguirse la naturaleza del tiempo como influjo de su comportamiento. Gruenbaum sostiene que aquélla se fundamenta en las leyes físicas, mientras éste no está relacionado necesariamente con ninguna causa exterior. El hecho de que el tiempo esté dotado de dirección es independiente del hecho de que nuestra existencia parezca lanzarse en esa dirección.

En *The Status of Temporal Becoming**, Gruenbaum ilustra claramente la diferencia. Las propiedades del tiempo como flecha se pueden contemplar de una manera independiente de lo que se quiere decir con los términos «pasado», «presente» o «futuro». Por ejemplo, si consideramos un proceso que comprende un aumento de entropía, como cuando un vaso cae de una mesa y se hace añicos, podemos definir un orden inconfundible de acontecimientos. Si sacáramos fotografías del suceso, podríamos colocarlas en el orden correcto sin mucha dificultad. Podríamos deducir que los acontecimientos eran temporalmente anisotrópicos, es decir, que el tiempo tiene flecha. Podría realizarse este procedimiento sin referencia a las ideas de «ahora», «antes» o «después».

Sugiere Gruenbaum que el concepto del «devenir» puede ser una creación que depende de la mente. Puede que el tiempo no fluya en absoluto en el universo físico, y que éste no sea más que un ente que consiste en unos sucesos inalterables en el espacio-tiempo. En semejante esquema, el espacio y el tiempo serían equivalentes, pero algún proceso mental propulsa nuestra atención de un tiempo a otro. Este proceso representa una clase de percepción sensorial parecida a la

vista y al olfato. Así, el flujo del tiempo sería tan sólo una ilusión y el «llegar a ser» equivaldría al «llegar a ser consciente»*. Afirma Gruenbaum:

«*El devenir depende de la mente porque no es un atributo de la conciencia física en sí, sino que requiere unos estados de conciencia conceptual. Dichos estados de conciencia registran la existencia de sucesos físicos y mentales en la medida en que sostengan ciertas relaciones temporales aparentes con los estados de conciencia.*»[1]

La idea de que el flujo del tiempo no tiene un origen físico se repite en el concepto del «universo bloque» del filósofo O. Costa de Beauregard, quien mantiene que la relatividad restringida dicta una simetría entre la naturaleza del espacio y la del tiempo[2]. Ya no se puede hablar del espacio y del tiempo salvo en términos de los conceptos unidos en la fusión denominada espacio-tiempo. El hecho de que fluya el tiempo está vinculado a los mecanismos interiores humanos y no a la realidad física objetiva. El momento de «ahora» no tiene ningún sentido fuera del reino de la mente.

Costa de Beauregard propone la idea de que los sueños y los pensamientos inconscientes representan períodos en los que se suspende la percepción del flujo del tiempo. Durante esos intervalos puede experimentarse la realidad atemporal del universo bloque. Es sólo la mente consciente la que se aferra a la ilusión del flujo temporal. La mente inconsciente puede correr libremente, explorando momentos pasados con la mayor facilidad.

Como vemos, la visión de Gruenbaum y Costa de Beauregard constituye un reto serio para los que vinculan el flujo del tiempo con el aumento de la entropía del universo o con otro estado físico. Es interesante examinar el flujo temporal en tanto que proceso mental, que puede desvincularse del tiempo físico tal como lo indica un re-

loj. Diversos mecanismos interiores y exteriores pueden acelerar o frenar el flujo.

Estados cambiados de experiencia temporal

Un niño ve un día típico de una manera muy distinta a un adulto. A un niño, un día le parece interminable, con centenares de juegos y tareas.

«Mañana» es algo en que rara vez piensa un niño, y «el mes que viene» es una eternidad. En cambio, podría transcurrir un día determinado cualquiera sin que un adulto apenas se diera cuenta. Podría preguntarse por qué vuelan tanto los años.

Es cierto que el tiempo parece fluir a velocidades distintas según la edad. Lo que le podría parecer a un niño un intervalo excesivamente largo podría pasar a una velocidad vertiginosa para alguien mucho mayor. Cinco años pueden parecerle toda una vida a un niño, mientras para una persona de la tercera edad puede no ser más que una gota de agua en el mar. Podríamos preguntarnos por qué es así.

Una solución a este enigma es que cinco años que a un niño pueden parecerle toda una vida, son realmente una vida para muchos niños pequeños. A medida que nos vamos haciendo mayores, un año representa un porcentaje cada vez menor de nuestra vida. Para alguien que tenga cien años, un año representa sólo el uno por ciento de su vida, mientras para una niña de diez años un año no es menos que un diez por ciento de la suya. Por consiguiente, a la niña el tiempo le parece pasar a una velocidad diez veces menor.

Esta solución constituye una de las respuestas corrientes a la pregunta sobre la aceleración del tiempo durante el proceso de envejecer. Existen, sin embargo, unas pruebas contundentes a favor de una

explicación alternativa, y que se basa en ciertos procesos químicos que se realizan en el cerebro.

Hay bastantes evidencias experimentales que apoyan la hipótesis de que un reloj biológico se encuentra ubicado en el cerebro. Este mecanismo, activado por medios químicos, regularía ciertas funciones fisiológicas. Por ejemplo, se cree que los ritmos circadianos de dormir y despertarse están relacionados con este supuesto reloj biológico. Incluso cuando se les priva de la luz solar, los seres humanos y otros animales siguen obedeciendo a un ciclo bastante regular de acontecimientos diarios. Por ello, muchas personas consiguen despertarse a la misma hora cada día y siempre se adelantan en unos minutos al despertador.

Hoogland ha propuesto un modelo del reloj biológico humano bajo la forma de un marcapasos químico y Treisman y Cohén lo han venido desarrollando[3]. En este modelo, un marcapasos químico emite una serie regular de señales que registra un mecanismo contador. Por último hay un tercer componente que almacena el número de pulsos registrados por el contador. Cuando se realizan unos cálculos inexactos de los intervalos, es porque ha habido algún error en el mecanismo de almacenaje o de reproducción. Se supone que las condiciones externas como la temperatura afectarían a la eficacia y al ritmo del reloj.

Una explicación factible del efecto que ejerce el proceso de envejecer sobre el cálculo del tiempo reside en la posibilidad de que el reloj biológico reduzca su velocidad al aproximarse la vejez. Existen unas pruebas importantes de que muchos procesos naturales se retrasan de forma considerable debido al envejecimiento. Es concebible que ese retraso pudiera afectar al ritmo de un marcapasos químico interno, creando así la ilusión de que el tiempo se va acelerando porque habría menos «tics» por minuto.

El biólogo Du Nouy se propuso buscar un medio por el cual pudiera averiguarse la velocidad del reloj fisiológico interior. Como medida de esta velocidad eligió el tiempo que tarda en cicatrizarse las heridas superficiales; dicho de otro modo, estudió el tiempo que tardarían en cicatrizarse heridas de un tamaño determinado. Llevó a cabo el mismo experimento con pacientes de 20, 30, 40 y 50 años de edad. Al buscar la media para todos los grupos, al tiempo que rechazó los resultados de los pacientes en mal estado de salud, obtuvo unos valores del ritmo que dependían de la edad.

Los resultados de Du Nouy son francamente extraordinarios. El tiempo de cicatrización aumenta considerablemente por el proceso de envejecer. Por ejemplo, si una herida de cierto tamaño tardase 20 días en cicatrizarse en un niño de 10 años, tardaría más de 40 días en un hombre de 30, mientras en uno de 60 años tardaría 100 días. El ritmo aumenta de modo uniforme y aproximadamente exponencial.

Debido al retraso de los procesos fisiológicos como la cicatrización, el tiempo necesario para curar lesiones de cierto tamaño aumenta mucho con la edad. Es decir, que para que se realice la misma cantidad de trabajo, hace falta que transcurra una cantidad cada vez mayor de tiempo. Por tanto, con el paso de los años, el tiempo parece transcurrir con una rapidez mucho mayor. Du Nouy saca la conclusión siguiente: «Todo ocurre como si el tiempo sideral (estelar) fluyera cuatro veces más rápido para un hombre de cincuenta años que para un niño de diez... Así, descubrimos que cuando adoptamos el tiempo físico como unidad de comparación, el tiempo físico ya no fluye uniformemente.»[4]

Por ello, Du Nouy defiende un tipo de «relatividad restringida biológica». El tiempo exterior, según propone, no tiene principio ni fin, y no puede decirse que fluya en absoluto. Por el contrario, el tiempo fisiológico parece fluir a velocidades distintas para observa-

dores distintos. No existe un tiempo biológico objetivo, sino tan sólo un tiempo relativo basado en el proceso de envejecer. Dado que no podemos entrar en contacto con el tiempo físico auténtico, el tiempo fisiológico es el único flujo temporal de que se nos permite hablar.

Sin lugar a dudas, la situación en lo que se refiere a las causas de, y la relación entre, el tiempo fisiológico y psicológico es mucho más compleja de lo que sugiere el caso del marcapasos químico. El trabajo de Du Nouy ha arrojado cierta luz sobre la relación que existe entre el flujo del tiempo y el envejecimiento, pero hay otros muchos factores que pueden afectar al flujo temporal. Es de sumo interés comprender la interación de todas esas influencias.

Se ha realizado no poco trabajo en el campo de la psicología experimental del tiempo. En la mayoría de los estudios se trata de estimar duraciones breves. En los casos típicos, las evaluaciones se efectúan proporcionándoles a los sujetos del experimento un intervalo fijo determinado, como podría ser el tiempo que media entre dos notas de música. Entonces les corresponde a los sujetos o bien estimar la duración del espacio en términos numéricos, o bien reproducir ellos ese espacio. Después, los cálculos del tiempo realizados por los sujetos se comparan con el valor verdadero. Los experimentos se llevan a cabo en diversas circunstancias y se controlan estrictamente las condiciones con el fin de medir la influencia que ejerce un solo parámetro sobre la evaluación de la duración temporal.

Uno de los experimentos más interesantes que se han efectuado versa sobre una comparación entre la evaluación temporal de los llamados intervalos «vacíos» y la de los intervalos llenos de varias distracciones. En una situación típica, se les pide a los sujetos que calculen la cantidad de tiempo que transcurre durante un período en el que no hay distracciones. A continuación se les ruega que se queden sentados durante un segundo período, en el que ocurre mucha acti-

vidad bajo la forma de estímulos visuales o auditivos. Suele descubrirse que los intervalos «llenos» parecen pasar más rápidamente que los «vacíos», pero que se recuerdan como más largos. Dicho de otro modo, si puede recordarse una serie de acontecimientos asociados con un período concreto, dicho período parece retrospectivamente más largo de lo que realmente fue.

El efecto que se mide en estos experimentos guarda relación con la experiencia corriente de que, durante los períodos aburridos o inactivos de la vida, el tiempo parece pasar con una lentitud espantosa. Durante estos períodos, se puede intentar incluso distraer el tiempo —hacer que las horas pasen más deprisa recurriendo a diversiones. En cambio, las épocas pictóricas de la vida parecen transcurrir a mucha mayor velocidad. Durante estas temporadas, cada instante parece único y valioso. Por consiguiente, aquéllas se recuerdan con mayor facilidad que los períodos aburridos. Así nos encontramos ante la paradoja de que una hora entretenida pasa volando, aunque pueda parecer larga en retrospectiva, mientras una hora aburrida pasa despacio, pero puede parecer insignificante a la hora de recordarla.

Otra serie interesante de observaciones psicológicas establece una relación entre la medición de espacio de tiempo y la estimación de distancias y velocidades. Estas investigaciones han desembocado en el descubrimiento de los llamados efectos «tau» y «kappa»*. El efecto tau se refiere a la determinación de distancias espaciales cuando se producen unos intervalos de tiempo. Se descubrió por primera vez en el transcurso de un grupo de experimentos táctiles. Se les pidió a los sujetos que estimaran las distancias entre un conjunto de tres puntos marcados en su piel. El segundo punto se encontraba equidistante del primero y del tercero, pero el tiempo que transcurrió entre el segundo y tercer estímulo fue más largo que el transcurrido en-

tre el primer y el segundo estímulo. Como resultado, los sujetos supusieron erróneamente que la distancia entre el segundo y el tercer punto fue mayor que la que separaba el primero y el segundo.

La conclusión que surgió a raíz de esa serie de experimentos fue que, si el tiempo que media entre estímulos sensoriales es cada vez mayor, la distancia que separa los estímulos a menudo se sobreestima. Se han dado unos resultados parecidos en el caso de las señales visuales y auditivas[5].

Lo contrario del efecto tau se llama el efecto kappa. En este caso se varían las distancias entre las sensaciones mientras el tiempo se mantiene constante. El sujeto supone típicamente que si la distancia entre dos estímulos sensoriales es mayor, el tiempo que transcurre entre estos sucesos también lo es aunque no sea cierto.

Los efectos kappa y tau están bien documentados. Revelan la relación extraordinariamente íntima que existe entre los conceptos del tiempo y el espacio tanto en la psicología como en la física. Esta relación tiene un interés especial cuando se estudia la manera en que los niños perciben ciertos conceptos físicos como la velocidad y la distancia. El psicólogo Jean Piaget ha examinado la forma en que cambian esas actitudes según crecen los niños. Antes de los ocho años, la mayoría de los niños creen que si un objeto recorre una gran distancia, el tiempo que tarda debe de ser proporcionalmente mayor. Es solamente a partir de los ocho años de edad cuando los niños comprenden de modo intuitivo la velocidad[6].

La estimación tanto de la duración temporal como de la distancia espacial puede resultar seriamente afectada por el consumo de drogas psicoactivas; ciertas sustancias químicas pueden modificar profundamente el ritmo y la forma en que los sentidos perciben la información[7]. El efecto de la sustancia psicoactiva LSD varía enormemente de una persona a otra. Por ello, es difícil generalizar sobre las distor-

siones temporales y espaciales que provoca esa droga. Sin embargo, algunos rasgos comunes se asocian a las experiencias alucinógenas inducidas por la ingestión de LSD. En primer lugar, el espacio parece perder su carácter regular y euclidiano. Ciertas imágenes pueden parecer más grandes que otras, según la importancia que tengan para el sujeto del experimento. En general, el espacio parece estirarse. En cambio, el tiempo parece acelerarse. Pasan los momentos a una velocidad mucho mayor. No está claro cómo el LSD afecta al reloj biológico ni por qué sus efectos son tan variados.

Los tranquilizantes producen el efecto contrario. Bajo la influencia de una de esas sustancias, el tiempo parece estirarse. Lo que le parecería un tiempo corto a una persona que se encontrase en un estado de ánimo normal le parecería mucho más largo a alguien que estuviese sedado. La Humanidad no conoce ningún producto farmacéutico que retrase el reloj interior del cuerpo en una medida importante. Por tanto, no existen drogas que se tomen con el fin específico de modificar el tiempo fisiológico del consumidor. Es interesante, sin embargo, considerar los efectos que tendría una droga de ese tipo en el caso de elaborarse.

En *El nuevo acelerador,* un cuento corto de H. G. Wells, se explora a. fondo la idea de utilizar drogas para acelerar o frenar el metabolismo humano. En este cuento, un profesor de Química elabora una sustancia que acelera el reloj biológico de quien la ingiera. Al probar la droga, el profesor comprueba que su propio tiempo fisiológico se acelera en un factor de 1.000. Sus movimientos se vuelven extraordinariamente rápidos, permitiéndole así realizar las más asombrosas hazañas de velocidad y destreza. Mientras permanece bajo la influencia del acelerador, el mundo que le rodea parece desenvolverse más despacio. Los insectos planean ante sus ojos como suspendidos en el aire, mientras los caballos parecen estar paralizados. La gente

permanece como estatuas a su alrededor. Poco a poco los efectos de la droga van pasando y todo vuelve a la normalidad.

A continuación el profesor desarrolla otra droga que denomina un «ralentizador» y que retrasa en una medida importante el reloj fisiológico humano. Quienes tomen esta sustancia perciben cómo el mundo que les rodea se desenvuelve mucho más deprisa de lo que hace en realidad. El protagonista del relato prevé un gran futuro comercial para esas sustancias.

«Las dos cosas (acelerador y ralentizador) juntas no pueden sino revolucionar totalmente la existencia civilizada. Constituyen el principio de nuestra liberación de la Túnica del Tiempo de que habla Carlyle. Por una parte, este Acelerador permitirá que nos concentremos con un impacto tremendo sobre cualquier momento u ocasión que exija nuestro máximo sentido y vigor; por otra parte, el ralentizador nos permitirá atravesar con una tranquilidad pasiva infinitos apuros y tedio.»[8]

La historia nos plantea la interesante posibilidad de que el tiempo fisiológico se acelere o se retrase a voluntad. No obstante, es muy poco probable que se desarrollen aceleradores o ralentizadores. El cuerpo humano no podría funcionar a un ritmo metabólico mucho mayor sin perjudicar gravemente la salud. Tampoco queda claro cual sería el verdadero impacto sobre la percepción psicológica del tiempo causado por cambios en el ritmo de los procesos fisiológicos. Lo más probable sería que cualquier aceleración del metabolismo del cuerpo condujera en poco tiempo al agotamiento, sin causar ningún impacto importante en la percepción temporal. Aún y con todo, es fascinante imaginar cuáles serían los resultados de un experimento tan audaz en el caso de que se pudiera llevar a cabo.

El modo más sencillo de modificar el flujo del tiempo es bastante corriente: dormir. El sueño representa una interrupción clara del flu-

jo normal del tiempo. Algunos eruditos, como Jung y Costa de Beauregard, han llegado a comparar el sueño con un estado atemporal. Mucha gente recurre de forma consciente al sueño para evadirse al flujo del tiempo. Ofrece un medio seguro de adelantar el reloj externo sin tener que experimentar los momentos intermedios. Además, conduce a una sensación de renovación y, en menor medida, de renacimiento.

El sueño, sin embargo, no representa un estado atemporal puro. Se ve interrumpido a menudo por imágenes oníricas, durante los cuales el tiempo sí parece fluir. Pero a diferencia del ritmo regular del tiempo durante las horas en las que estamos despiertos, el tiempo onírico transcurre de una forma extraña y, a veces, surrealista. Según la interpretación freudiana tradicional, los sueños tienen su origen en los deseos reprimidos que recelan ocultos en la mente inconsciente. Esta es, por su propia naturaleza, atemporal. Por tanto, el carácter fluente del tiempo no es un rasgo inherente de los sueños. Cuando el tiempo aparece en un sueño es significativo principalmente por ser un reflejo de las responsabilidades actuales de el que duerme en el mundo real. La velocidad de flujo del tiempo durante una parte del sueño refleja la actitud de quien duerme ante los sucesos, interpretados mediante símbolos, que el sueño representa. Por ejemplo, si el tiempo parece pasar a una velocidad incómoda durante un sueño sobre la vida laboral de la persona que duerme, es probable que una sensación de ansiedad se asocie con el trabajo.

La mayoría de nosotros recordamos sólo una pequeña fracción de nuestros sueños. En las pocas ocasiones en que nos acordamos de ellos al despertarnos, solemos reorganizar y estirar el orden de los sucesos con el fin de dar un sentido a nuestras experiencias. Si asociamos una abundancia de acontecimientos con una fase de cierto sueño, podríamos suponer que el tiempo de su duración era más lar-

go que el de una etapa anodina. Así, unos pocos segundos de tiempo onírico pueden parecer unas horas de tiempo real.

Se han efectuado unos experimentos detallados para medir la correlación que existe entre la cantidad de tiempo que un sueño parece durar, y la duración auténtica del sueño según el reloj. El hecho de que exista una relación importante entre la actividad onírica y los movimientos oculares rápidos (REM) nos ayuda a comprender cuánto tiempo dura un sueño. Se ha descubierto que un sujeto suele estar soñando durante los periodos en que sus ojos giran rápidamente de un lado a otro. La correlación nos proporciona una estimación de la duración de dichos períodos. Los estudios demuestran que puede haber una discrepancia considerable entre los tiempos imaginados y verdadero de un sueño.

La distorsión temporal que los sueños entrañan puede reproducirse mediante la hipnosis clínica. Se le puede sugestionar a un sujeto hipnotizado para que perciba el paso del tiempo a mayor o menor velocidad que la indicada por un reloj. Por ejemplo, a una persona sugestionable (a quien es fácil hipnotizar) se le puede decir que transcurrirá media hora entre dos sucesos. Si se quitan todos los cronómetros externos, puede que el sujeto crea que han pasado 30 minutos aun cuando el tiempo auténtico es mayor o menor. Esto nos lleva a la conclusión de que la experiencia del flujo temporal tiene fuertes ingredientes psicológicos que pueden influenciarse fácilmente mediante la sugestión.

Existen otros muchos factores capaces de influenciar la velocidad aparente del tiempo. Las emociones la afectan profundamente: la aflicción, por ejemplo, puede causar que una hora parezca interminable. Las influencias culturales también desempeñan un papel en determinar el ritmo del reloj interno. En las sociedades industrializadas muy desarrolladas, los relojes psicológicos deben correr a veloci-

dades más altas que los de las sociedades agrícolas más lentas. Por último, el clima puede jugar su papel en determinar el ritmo del tiempo interior. En las zonas más frías, los relojes biológicos suelen correr más despacio que en las regiones más templadas.

También abundan las causas orgánicas de cambio en el flujo temporal. Citemos a modo de ejemplo el efecto de los procesos que tienen lugar en el umbral de la muerte o en los accidentes casi mortales. Afirma la sabiduría popular que, antes de la muerte, la vida de una persona «pasa ante sus ojos como un rayo». Existen muchos casos documentados en los que ha ocurrido este fenómeno durante una experiencia al borde de la muerte. Los científicos no están seguros de cuál es el origen de semejante ruptura del flujo normal del tiempo. Hay quienes postulan que puede deberse al deterioro del tejido cerebral.

Se dice que muchos pacientes psicóticos experimentan trastornos radicales en su percepción de procesos temporales. Entre los esquizofrénicos, por ejemplo, existe una fuerte tendencia a estimar demasiado baja su edad o período de reclusión. Algunos esquizofrénicos viven incluso en un mundo sin tiempo. Según señala Meerloo:

«*Quizás (hay) una experiencia temporal típica de los esquizofrénicos (que consiste en) habitar un mucho arcaico atemporal sin ritmo, sin noche ni día, una clase de tiempo oceánico como el que experimenta al feto en la matriz. A muchos esquizofrénicos su fase psicótica les parece una eternidad. Se dan cuenta de la pérdida de su conciencia temporal.*»[9]

La enfermedad puede jugar un papel importante en la distorsión del tiempo. Ciertas clases de trastornos cerebrales pueden conducir a una pérdida drástica de la memoria. Es evidente que una pérdida abrupta de la memoria trastorna en un alto grado la percepción del tiempo. Una víctima de semejante síndrome podría perder 1a habili-

dad de distinguir entre los sucesos del pasado remoto y los del presente. El tiempo podría incluso dejar de fluir para esa persona.

En 1887, el médico ruso Korsakov documentó un trastorno mental extraño que creía estar relacionado con el daño cerebral provocado por el abuso del alcohol. Dicho trastorno, que ahora se denomina el síndrome de Korsakov, está caracterizado por una pérdida grave de la memoria debida a la destrucción de neuronas en el cerebro. Las victimas suelen conservar una fracción importante de su memoria de largo alcance pero pierden gran parte de su memoria de corto alcance. Así, tienen la sensación general de hallarse atrapados en el tiempo. Muy a menudo, los pacientes no son conscientes de que les pasa nada grave aparte de tener la ligera impresión de que algo no va bien del todo.

Oliver Sacks documenta varios casos del síndrome de Korsakov en su libro *The Man Who Mistook His Wife for a Hat*.* Afirma que los pacientes de este tipo anclados en el pasado, deben permanecer en su casa, orientados hacia el pasado. «El tiempo para ellos se ha paralizado.» Uno de sus pacientes, llamado Jimmy ha experimentado un trauma profundo debido al alcohol. El diagnóstico es el síndrome de Korsakov, y parece encerrado en el pasado. No recuerda nada de lo que sucedió a partir de 1945 y olvida de forma casi instantánea cualquier cosa que se le diga. Para él, la Segunda Guerra Mundial acaba de terminar, aunque el calendario le asegura que han transcurrido cuatro décadas desde entonces. Cuando ve a su hermano, quien, por supuesto ha envejecido, no puede creer esta transformación «instantánea» en un hombre a quien sigue viendo como un adolescente. Jimmy debe averiguar a cada momento dónde está y qué está haciendo, pues es incapaz de mantener cualquier tipo de continuidad temporal.

Otro paciente de Shacks, un hombre llamado William Thompson, contrajo un caso agudo del síndrome de Korsakov después de un breve período de fiebre alta. Perdió la habilidad de conservar una idea en la cabeza durante más de unos cuantos segundos; en consecuencia se veía obligado a inventar su mundo a cada momento de su vida. Se dedica constantemente a contar historias para dar un sentido a su vida destrozada. Además, a pesar de vivir en un estado permanente de ansiedad, no es consciente de haber perdido algo. Sacks recuerda uno de sus encuentros con el señor Thompson:

«No recordaba nada durante más de unos segundos. Estaba completamente desorientado. Unos abismos de amnesia se abrían continuamente bajo él, pero los llenaba ágilmente con charlas y ficciones fluidas de todo tipo. Para él no se trataba de ficciones, sino de la manera en que veía, o interpretaba el mundo... Por lo que a él se refería no pasaba nada... Debía inventarse literalmente a sí mismo y a su mundo a cada momento.»[10]

Los casos descritos por Sacks plantean serias preguntas sobre la naturaleza del tiempo. En concreto, nos demuestran lo frágil que es la relación que existe entre el tiempo psicológico y la realidad física. El vinculo depende de unas asociaciones, tanto innatas como adquiridas, entre los acontecimientos externos y nuestros pensamientos, que han ido acumulándose en nuestro cerebro a través de los años. Una vez truncada esta relación, es difícil afirmar que el tiempo fluye. Cada instante se queda reducido a una instantánea independiente de un universo bloque atemporal.

¿Seguiría existiendo el flujo del tiempo si todos careciésemos de la facultad de tejer con nuestras percepciones momentáneas los tapices de la memoria, o podría decirse que el universo fuese atemporal en la ausencia de unos observadores conscientes que registran datos? ¿Es la experiencia del flujo temporal un producto de nuestra habili-

dad mental de dar un sentido a unos sucesos dispares, o constituye una auténtica representación de la naturaleza profunda de la realidad? La pregunta sobre si el tiempo es o no una creación humana no tiene una respuesta directa. Sigue siendo un profundo misterio que eludiría seguramente a la Humanidad para siempre.

Los viajes a través del tiempo

Los episodios en los que se ve modificado el tejido del tiempo o interrumpido su flujo nos presentan un enfoque interesante de la conciencia temporal. Puede imaginarse que el tiempo es algo fluido y subjetivo antes que rígido y universal. Según esta versión dinámica del tiempo, hasta se puede imaginar una separación entre la línea temporal de una persona y la del mundo. En otras palabras, podría ser que alguien se librara del todo de la dictadura del reloj. Ello ofrecería la posibilidad de viajar a través del tiempo.

Los viajes a través del tiempo han constituido un tema corriente de mucha literatura fantástica. La idea de que uno pueda apartarse del flujo temporal para reengancharse en un momento posterior o anterior resulta de lo más fascinante. Los viajes en el tiempo nos ofrecen un indulto ante una de las condiciones más desafortunadas de la mortalidad: no podemos ni experimentar el futuro lejano ni revivir el pasado. Aunque no podemos evadirnos a la muerte con este tipo de viajes, si podemos prolongar en una medida importante la fracción de la historia humana que tenemos la oportunidad de vislumbrar. En el relato tradicional de viajes a través del tiempo, el protagonista suele verse transportado hacia el pasado o el futuro (normalmente hacia éste) mediante algún artefacto. En el caso de los primeros cuentos de este tipo, el medio corriente de transporte consiste en algunos de los métodos de modificar el flujo del tiempo que he-

mos comentado en la sección anterior; a saber, el sueño, las imágenes oníricas, las drogas, la hipnosis y fallos de la memoria.

Las primeras historias que tratan el tema de los viajes hacia el futuro recurren en muchos casos al sueño como medio de transporte. En *Memoirs of the Year Two Thousand Five Hundred*[1] obra escrita en 1771 por L. S. Mercier, un hombre se queda dormido para despertarse en el seno de una comunidad utópica que florece en un futuro lejano. Otro ejemplo de este tipo de relato es el *Rip Van Winkle* de Washington Irving en que el protagonista, cuyo nombre constituye el título de la obra, duerme durante un tiempo mucho más corto y, al despertarse, se encuentra con que sus parientes han envejecido.

Resulta más difícil que un escritor se valga del sueño para explicar los viajes al pasado. Aún y con todo en *A Connecticut Yankee in King Arthur's Court*[2] de Mark Twain, un golpe recibido en la cabeza hace que el protagonista entre en un estado de somnolencia. Se despierta en el pasado y descubre que ha viajado desde los Estados Unidos hasta la Inglaterra medieval.

Cuando se popularizó la hipnosis, o mesmerismo, en el siglo XIX, llegó a suplementar el sueño medio hipotético para desplazarse en el tiempo. En *Looking Backward*[3] un hombre que ha entrado en un estado hipnótico profundo experimenta el Boston utópico del futuro inventado por Bellamy. Mientras el protagonista duerme profundamente en una cripta subterránea, se incendia su casa. Dándole erróneamente por muerto, le desentierran unos ocupantes posteriores del solar.

La publicación de *The Time Machine** en 1895 marcó un cambio de sentido radical para las historias de viajes temporales. El relato de Wells describió la posibilidad de desplazarse a voluntad hacia el pasado o el futuro en vez de depender simplemente de unas fuerzas externas incontrolables, Wells imaginó un mecanismo que permitiera

que alguien viajara por la cuarta dimensión —el tiempo— con la misma facilidad con que se podía viajar por las tres dimensiones espaciales. Como recordará el lector, la idea del espacio-tiempo de Wells se anticipó a la formulación del concepto por parte de Einstein.

Ajustando los botones de los cuadrantes de su máquina, el viajero temporal de Wells consigue desplazarse hasta cualquier época de la historia que le plazca; su ingenio puede dirigirse con la misma facilidad hacia el pasado o el futuro. La sensación que experimenta mientras viaja es la de una propulsión continua hacia adelante. A su alrededor, la gente parece desfilar a unas velocidades vertiginosas. Aparecen *y* desaparecen los edificios por doquier. El sol *y* la luna recorren el cielo como bandas de luz. La experiencia es verdaderamente extraordinaria.

El mayor temor del viajero es la posibilidad de aterrizar en un espacio que esté ya ocupado. De ser así, sus moléculas chocarían con las del otro cuerpo, lo cual produciría una explosión enorme. Esta perspectiva le aterra al viajero:

«El riesgo especial residía en la posibilidad de encontrarme con alguna sustancia en el espacio que yo, o la máquina, ocupase. Mientras viajara a alta velocidad a través del tiempo, esto importaría poco. Yo estaría atenuado, por así decirlo, y me deslizaría como el vapor por los intersticios de las sustancias intermedias. Ei detenerse, empero, implicaría la colisión, molécula contra molécula, con cualquier objeto que se encontrara en mi camino: significaría que mis átomos entrarían en un contacto tan intimo con los del obstáculo que se produciría una reacción química profunda —¿quién sabe si una explosión de proporciones incalculables?»[11]

Afortunadamente para el viajero, no ocurre semejante accidente. Es interesante observar que ni siquiera se produce un efecto debido a

la inevitable colisión con las moléculas del aire que acompañarían la parada de la máquina —hecho que no se le ocurre al viajero.

El protagonista de Wells no intenta desplazarse hacia el pasado. En el caso de que lo hiciera, existiría la posibilidad de que creara una paradoja temporal, la cual surge cuando un viajero a través del tiempo modifica el pasado en una medida importante. Al volver al futuro, encuentra que el mundo en que se crió ha cambiado hasta el punto de ser casi irreconocible.

Se han escrito numerosos relatos sobre viajes a través del tiempo en los que se dan las paradojas temporales. Uno de los más célebres es «*El sonido del trueno*» de Ray Bradbury. En este cuento, una compañía de «safaris temporales» envía cazadores ávidos de aventuras al pasado en busca de dinosaurios. Se les da unas instrucciones muy cuidadosas respecto a dónde pueden pisar y qué animales pueden matar. Esas advertencias son necesarias para evitar cualquier modificación de los sucesos del pasado que pueda entrañar consecuencias para el futuro.

Sin embargo, durante una expedición de ese tipo la advertencia se desoye. Una mariposa resulta muerta por error. Los efectos de su muerte se van aumentando según pasa el tiempo (lo cual constituye un ejemplo primitivo del «Efecto Mariposa» de Edwing Lorenz que tratábamos en el capítulo [3]) hasta conducir a unas consecuencias desastrosas. Se invierte el resultado de unas elecciones presidenciales fundamentales en Estados Unidos, con repercusiones desagradables en todo el mundo. Todo ello ocurre por un ligero trastorno en la precaria cadena de causa y efecto que ha venido forjando el mundo del momento actual del relato.

En el citado relato no existe realmente una paradoja en el sentido más estricto de la palabra, porque no hay una contradicción verdadera entre dos principios contrarios. No obstante, en otras historias

que dependen de las paradojas temporales, el lector se encuentra ante un choque entre diversas versiones contradictorias de la realidad que simplemente no pueden conciliarse. El caso clásico de dicha paradoja consiste en un lance según el cual una mujer asesina a uno de sus propios antepasados. La pérdida de un antepasado implicaría que la mujer nunca existió y que, en consecuencia, nunca habría podido viajar hacia atrás en el tiempo. Por tanto, no es asesinado su antepasado, de modo que la mujer existe de verdad y puede cometer el asesinato, y así sucesivamente. No hay forma de resolver la paradoja: no puede suponerse ni que la viajera temporal esté viva ni que esté muerta. En ambos casos existe una contradicción.

En numerosas variaciones sobre este tema, los viajeros temporales alteran la cadena causal de diversas formas. Una subclase interesante de este tipo de relatos trata unos sucesos que constituyen su propia causa. En *All You Zombies** de Robert Heinlein, un hombre vuelve a su pasado y, debido a un viraje del destino, se convierte en su propio padre y (mediante una operación de cambio de sexo) en su propia madre. Por consiguiente algo parece crearse de la nada, puesto que el hombre es su propio progenitor.

Otra posibilidad interesante es que un viajero temporal envíe al pasado unos planes para una máquina del tiempo. Un personaje del pasado se vale de los planes para perfeccionar los viajes a través del tiempo. Se inventa la máquina del tiempo y se utiliza para catapultar hacia el pasado los planes para la construcción de la máquina. De nuevo se crea algo (la máquina del tiempo) de la nada.

Existen varios métodos por los cuales los autores se proponen resolver las paradojas inherentes en los viajes a través del tiempo[12]. Una forma de evitar las paradojas es postular que el universo esté dotado de cierta elasticidad. Cualquier modificación que se efectúe en el entramado de causa y efecto resulta limada por cambios poste-

riores. Otro método consiste en proponer la existencia de universos alternativos. Siempre que un viajero temporal provoca un cambio, se le envía a un universo alternativo en el que no exista ninguna contradicción. Supongamos, a modo de ejemplo, que alguien mata a su propia madre. Si intenta volver al presente, descubre que se encuentra en otra versión del universo en la que nunca existió. Trataremos con más detalle el tema de los universos alternativos en el siguiente capítulo.

Hasta ahora, nuestra discusión ha sido puramente especulativa; hemos analizado algo que podría ser totalmente ficticio. Llegados a este punto, podríamos preguntarnos si los viajes a través del tiempo al estilo de Wells podrían realizarse alguna vez. ¿Existiría alguna manera conocida de viajar en el tiempo que se ajuste a las leyes físicas? ¿O semejantes viajes son simplemente una fantasía?

Estas preguntas tienen una respuesta algo compleja. Debemos considerar por separado los viajes hacia el futuro y los viajes hacia el pasado. Aquéllos podrían resultar más fáciles que éstos por la sencilla razón de que ya estamos desplazándonos hacia el futuro. Nuestra existencia viaja hacia el futuro a la velocidad de 24 horas cada día. Al proponer los viajes hacia un futuro lejano, desearíamos acelerar el flujo del tiempo en vez de invertirlo. Invertir el tiempo para viajar al pasado resulta ciertamente más difícil, quizá imposible. Examinemos por qué es así.

La forma más sencilla de viajar hacia un futuro lejano consiste en explotar la teoría de la Relatividad restringida. Siempre que un cuerpo viaja a cierta velocidad relativa a la Tierra, su reloj interior parece correr más despacio según los criterios terrestres. Por tanto, se puede decir que el cuerpo envejece menos de lo que sería el caso si estuviera pegado a la Tierra.

Por ejemplo, supongamos que una nave espacial se aleja de la Tierra a una velocidad próxima a la de la luz. Un pasajero a bordo, Ted, emprende el viaje a la edad de 28 años. Su hermano, Ned que permanece en la Tierra, también tiene 28 años. Supongamos que existe una televisión mediante la cual Ned puede controlar las actividades de Ted.

Conforme la nave va alcanzando su máxima velocidad, Ned se percata de que las acciones de Ted se han vuelto cada vez más lentas. Al fin, Ted parece hallarse en un estado de suspensión de las funciones vitales. Ned envejece y, por fin, muere. Ted vuelve a la Tierra después de un período que para él ha sido de 7 años. Se encuentra con que varios siglos de historia terrenal han transcurrido durante su ausencia. El resultado es que él ha viajado hacia el futuro de la Tierra sin haber envejecido de una forma perceptible.

Se ha explotado ese tema en diversos relatos sobre los viajes a través del tiempo. El caso paradigmático es que un equipo de astronautas abandona la Tierra, viaja a una velocidad cercana a la de la luz para luego volver varios siglos más tarde. Este es el sistema de viajes temporales utilizado en historias de aventuras como *Planet of the Apes**, en donde un astronauta vuelve a la Tierra del futuro para encontrarla cambiada de una forma horrible.

El uso de la relatividad restringida como medio de viajar a través del tiempo es una auténtica posibilidad. La dilación relativista del tiempo es un fenómeno que se ha verificado científicamente. Se ha medido, por ejemplo, en los relojes que han subido a bordo de los aviones rápidos. Evidentemente, la velocidad de incluso el avión más rápido sigue siendo muy inferior a la de la luz, de modo que todos los efectos relativistas resultan ser exiguos. Sin embargo, hasta ahora nadie ha viajado a unas velocidades próximas a la de la luz.

Por tanto, no se han efectuado experimentos importantes con seres humanos en los que entre en juego el efecto de la dilación temporal.

No está claro que ocurriría con el reloj subjetivo humano a medida que el cuerpo se aproximara a unas velocidades cercanas a la de la luz.

Se supone que el tiempo subjetivo imitaría el tiempo del reloj, y en consecuencia, reduciría su marcha con relación al tiempo subjetivo de una persona que está en la Tierra. No obstante, nadie sabe a ciencia cierta qué ocurriría con nuestro reloj interior.

El argumento del cuento *Common Time*[4] [5] de James Blish consiste en que el tiempo subjetivo se queda rezagado con respecto al tiempo relativista del reloj. Un viajero espacial descubre con horror que su tiempo psicológico está corriendo miles de veces más deprisa que el indicado por el reloj. Así, cada segundo del tiempo del reloj corresponde a dos horas de pensamientos. Afortunadamente, el efecto pasa mientras el viajero prevé años de aburrimiento total. Es de esperar que no ocurra semejante efecto al alcanzarse velocidades próximas a la de la luz. Si es verdad que el tiempo subjetivo corresponde al tiempo relativista del reloj, sería perfectamente posible que tanto la mente como el cuerpo viajasen a través de los tiempos.

Obsérvese que los viajes temporales permitidos por la relatividad restringida deben realizarse hacia el futuro. La relatividad puede modificar el flujo del tiempo pero no puede cambiar el orden de los sucesos. No puede invertir la sucesión de causa y efecto. Así, los viajes temporales al pasado resultan imposibles con este método. Para desplazarse hacia el pasado sería necesario viajar más rápido que la luz. Esta posibilidad queda excluida de la teoría.

Esa exclusión no ha impedido que los escritores de la ficción especulativa utilicen los viajes a velocidades supralumínicas como medio de volver al pasado. Al romper la «barrera de la luz», los prota-

gonistas de este tipo de relatos encuentran que sus relojes empiezan a correr hacia atrás. A la larga consiguen alcanzar cualquier época del pasado remoto mediante ese método. Esta pseudoposibilidad también ha inspirado algunas poesías humorísticas. El siguiente poema famoso sobre los viajes supralumínicos ha sido publicado por un autor anónimo:

> There was a Young girl named Bright
> Who could travel much faster than light
> She went out one day
> In an Einsteininian way
> And returned the previous night.

A pesar de que la relatividad restringida excluya de modo específico los viajes temporales hacia el pasado, no es así con la relatividad general. Según la teoría de la relatividad general es técnicamente posible que un campo gravitatorio fuerte modifique el tejido del espacio-tiempo. Si se distorsiona en un grado importante este tejido, podría resultar factible viajar igualmente hacia el futuro o el pasado.

Repasemos nuestra discusión sobre la relatividad general y los agujeros negros. De acuerdo con la relatividad general, el espacio-tiempo sin masa puede representarse como una superficie tetradimensional. La presencia de la masa distorsiona una cama elástica cuando alguien sube a ella. Cuanto mayor sea la masa presente, tanto más espacio-tiempo se deforma.

La deformación del espacio-tiempo afecta al movimiento de todos los cuerpos que se encuentren en las proximidades. Es habitual asociar el cambio de movimiento con el efecto de la gravedad, pero encontramos aquí el resultado suplementario de que también se ven afectados los movimientos de los cuerpos *carentes de masa.* Según la

teoría gravitatoria tradicional de Newton, los objetos sin masa no deberían experimentar la gravedad. Según la relatividad general de Einstein, los cuerpos sin masa como las partículas de luz sí que acusarían la gravedad.

Como hemos señalado, los agujeros negros son unos subproductos densos que resultan de la muerte estelar. Sus masas sirven para distorsionar de una forma considerable el espacio-tiempo a su alrededor. Un resultado de este fenómeno es que están rodeados de unos llamados horizontes de sucesos. Una vez dentro de un horizonte de sucesos, ningún objeto puede escaparse intacto. Incluso la luz debe permanecer atrapada por la «membrana semipermeable». La teoría actual sostiene que la energía sí puede salirse de un agujero negro, pero en una forma distinta a la materia y energía que entran en él. En consecuencia, puede afirmarse que la materia no abandona un agujero negro de una forma reconocible.

En el centro del agujero negro existe un punto en el espacio-tiempo, denominado singularidad, que representa una ruptura del espacio-tiempo. Cuando un cuerpo cae en una singularidad, cruza la frontera del espacio-tiempo. Cuando llega a la singularidad, sin embargo, ya ha quedado exprimido y estirado por la enorme gravedad del agujero negro. El resultado es que, antes de entrar en la singularidad, se vuelve ínfimamente fino.

Si un agujero negro gira, ocurre algo interesante. Según la teoría, se encuentra una región dentro de un agujero negro en rotación donde el tiempo y el espacio invierten los papeles. Esto se debe a la ingente distorsión del espacio-tiempo provocada por el agujero negro. En consecuencia, se puede viajar libremente por el tiempo en dicha región; puede alcanzarse cualquier punto del pasado o del futuro. Es concebible que este tipo de agujero negro pueda utilizarse para viajar a través del tiempo.

Las circunstancias que reinan dentro de esta región «atemporal» de un agujero negro son diametralmente opuestas a las del espacio normal. En el mundo que existe fuera de un agujero negro, se puede viajar libremente por el espacio, pero no a través del tiempo. Dentro del agujero negro, queda limitado el desplazamiento espacial pero el desplazamiento temporal sea posible.

Uno podría preguntarse hasta qué punto sería factible este método de viajar a través del tiempo. En teoría, puede realizarse este tipo de desplazamiento temporal de una manera relativamente sencilla. En la práctica, cualquier astronauta que quedara atrapado en un agujero negro correría el grave riesgo de ser aplastado. Sólo en los agujeros negros extremadamente grandes podría minimizarse ligeramente el riesgo.

En segundo lugar, existe un solo método de escaparse de un agujero negro según postula la teoría. Ese método depende de la idea sumamente especulativa de que los agujeros negros ofrecen puertas hacia otros universos u otras regiones de nuestro universo. Este concepto polémico fue engendrado por los modelos matemáticos de los agujeros negros, modelos en que parecen existir unos puntos de unión entre dos universos mediante un «agujero de gusano».

De modo que alguien que deseara viajar a través del tiempo podría entrar en un agujero negro gigantesco (de dimensiones galácticas) en rotación. Entonces quizá pudiera alcanzar una zona en la que el desplazamiento temporal fuese posible. Si evitara con sumo cuidado la gravedad aplastante del centro, podría tal vez huir a través de un agujero de gusano. Es concebible que después consiguiera volver a la Tierra, llegando en algún momento del pasado o del futuro de ésta. Esta sucesión de acontecimientos, aunque sea teóricamente posible, es simplemente muy poco probable o práctica. Por consiguien-

te, podríamos excluir los viajes hacia el pasado por ser algo fundamentado en la teoría física.

En resumen, parece ser posible viajar en el tiempo cuando uno se propone desplazarse hacia el futuro. La relatividad restringida permite esa interesante eventualidad, que tal vez se realice algún día. Los viajes al pasado son mucho más problemáticos y, en realidad, pueden resultar imposibles.

Además del método físico de viajar a través del tiempo, otros medios de salirse de modo provisional del flujo del tiempo se encuentran a nuestro alcance. La forma más sencilla es el sueño. El sueño de larga duración mediante la suspensión de las funciones vitales puede resultar factible algún día. Otros métodos comprenden las drogas y la hipnosis. Ciertas clases de trastornos mentales y neurológicos son a veces la causa de los viajes temporales de una índole distinta y, en general, no deseada, como en el caso de la esquizofrenia.

Queda claro que el tiempo no es un fluido que corre uniformemente, sino que puede tener muchos remolinos y ondas. El flujo del tiempo depende en gran parte, si no enteramente, del observador.

En el siguiente capítulo exploraremos la posibilidad de que el tiempo también posea múltiples ramas.

Referencias

1. ADOLF GRUENBAUM: *Modern Science and Zeno's Paradoxes,* Wesleyan University Press, Middleton, Conn., 1967.
2. O. COSTA DE BEAUREGARD: «Time in Relativity Theory — Arguments for a Philosophy of Being», en J. T. Fraser (ed.), *The Volees of Time,* George Braziller, Nueva York, 1966.

3. JOHN COHÉN: «Time in Psychology», en Jiri Zeman (ed.), *Time in Science and Philosophy,* Elsevier Publishers, Nueva York, 1971.
4. P. LECOMPTE DU NOUY: *Biological Time,* Macmillan Publishing Co., Nueva York, 1937.
5. JOHN COHÉN: «Subjective Time», en J. T. Fraser (ed.) *The Volees of Time,* George Braziller, Nueva York, 1966.
6. JEAN PIAGET: «Time Perception in Children», en J. T. Fraser (ed.), *The Volees of Time,* George Braziller, Nueva York, 1966.
7. JOOST A. M. MEERLOO: «The Time Sense in Psychiatry», en J. T. Fraser (ed.), *The Volees of Time,* George Braziller, Nueva York, 1966.
8. H. G. WELLS: «The New Accelerator», en *28 Science Fiction Stories* of H. G. Wells, Dover, Nueva York, 1952.
9. JOOST A. M. MEERLOO: «The Time Sense in Psychiatry», en J. T. Fraser (ed.), *The Volees of Time,* George Braziller, Nueva York, 1966.
10. OLÍ VER SACKS: *The Man Who Mistook His Wife for a Hat,* Summit Books, Nueva York, 1985.
11. H. G. WELLS: «The Time Machine», en *Three Prophetic Novéis* seleccionadas por E. F. Bleiber, Dover, Nueva York, 1960.
12. MARTIN GARDNER: *Time Travel and Other Mathematical Bewildermenls,* W. H. Freeman y Co., Nueva York, 1988.

---

1 (N. del T.: Recuerdos del año 2500.)

2 (N. del T.: Un yanqui en la corte del Rey Arturo.)

3 (N. del T.: Mirando hacia atrás.)

4 (N. del T.: Tiempo común.)

5 (N. del T.: Erase una vez una chica llamada Bright/Quien podía viajar mucho más rápido que la luz/Salió un día/de una manera relativa/y volvió la noche

anterior.)

6

El jardín de las sendas que se bifurcan

El tiempo como laberinto

En Inglaterra durante el siglo XIX era bastante corriente que los dueños de las fincas grandes construyesen laberintos en sus jardines. Podando con esmero los setos de un jardín pulcramente arreglado, diseñaban laberintos intrincados y desconcertantes. Las visitas podían divertirse intentando desentrañar el misterio de un laberinto. Podían perderse entre los matorrales y luego probar suerte a la hora de buscar la ruta más corta posible para salir del dédalo.

El escritor Jorge Luis Borges sentía una curiosa pasión por los laberintos además de un vivo interés por el enigma del tiempo. Borges no tenía muy claro dónde se encontraba la línea divisoria entre estas dos preocupaciones. Durante toda su vida intentó descifrar el enigma del tiempo como si tratara de buscar la salida de un laberinto interminable. Borges consideraba que el tiempo era el mayor de los misterios, el enigma de los enigmas.

El relato que quizás retrate con más detalle que ningún otro el carácter laberíntico del tiempo es *El jardín de las sendas que se bifurcan* de

Borges. El relato representa el tiempo como la solución de un enigma de una complejidad infinita. Es un laberinto que no tiene salida.

La acción se desarrolla durante la Primera Guerra Mundial. Yu l'sun, espía chino que trabaja para Alemania, procura no caer en manos de los ingleses. Se refugia en casa de un sinólogo destacado, Stephen Albert. Albert impresiona a Yu Tsun con sus conocimientos sobre uno de los ilustres antepasados de Tsun. Dicho antepasado, llamado Ts'ui Pen, gobernador provincial, astrónomo, intérprete, calígrafo y poeta, era un hombre bastante influyente. Un día anunció repentinamente que iba a renunciar a su poder. Abandonó su riqueza y su posición social para abrazar la vida solitaria. Cuando le preguntaron por qué había tomado una decisión tan drástica, respondió que se retiraba para componer un libro y un laberinto. Continuó su vida monástica hasta su muerte 13 años más tarde. Cuando murió, se encontraron los fragmentos de un manuscrito caótico. Este manuscrito desordenado fue publicado de acuerdo con la última voluntad de Ts'ui Pen.

Los eruditos no consiguieron desembrollar el misterio del manuscrito ni pudieron localizar el laberinto creado por Ts'ui Pen. Por fin, Stephen Albert descubrió una carta escrita por Ts'ui Pen poco antes de morir. La carta incluía una afirmación que revelaba la intención de Ts'ui Pen: «Dejo para los diversos futuros (no para todos) mi jardín de las sendas que se bifurcan»[1]. Al leer esta carta, Albert resolvió el misterio del libro y del laberinto: eran la misma carta. El manuscrito de Ts'ui Pen pudo identificarse como su «jardín de las sendas que se bifurcan».

La novela de Ts'ui Pen es bastante insólita. Algunos personajes vuelven a aparecer después de haber sido asesinados. Ciertos elementos del argumento se contradicen de una forma flagrante conforme avanza la novela. En efecto, el libro comprende todas las posibili-

dades; en vez de elegir sólo una de entre muchas alternativas, los personajes escogen todas. Se describe cada uno de los diversos futuros. Así, la novela constituye un laberinto en el que el lector se pierde entre las múltiples opciones.

Después de mucha reflexión, Albert percibe claramente el objetivo del libro. A Ts'ui Pen le obsesionaban el significado y la forma del tiempo. Quiso comunicar, bajo la forma de una adivinanza, la complejidad del misterio del tiempo. En una adivinanza, la única palabra que no debe aparecer es la solución. Y efectivamente, la palabra «tiempo» no aparece en absoluto en el libro de Ts'ui Pen. A raíz de sus amplios estudios sobre Ts'ui Pen, Albert saca la conclusión de que la naturaleza del tiempo sería el foco de la obra de Ts'ui Pen. Le asegura a Yu Tsun que Ts'ui Pen enfocaba el tiempo de una forma muy poco convencional:

«*El jardín de las sendas que se bifurcan es una imagen incompleta, aunque no falsa, del universo tal como lo concebía Ts'ui Pen. En contraste con Newton y Schopenhauer, tu antepasado no creía en un tiempo uniforme y absoluto. Al contrario, él creía en una serie infinita de tiempos que asumía la forma de una red que crecía vertiginosamente –una red de tiempos divergentes, convergentes y paralelos. Esta red de tiempos que ora se aproximaban, ora se bifurcaban, ora se rompían, ora ignoraban su mutua existencia durante siglos, comprende todas las posibilidades del tiempo. Nosotros no existimos en la mayoría de estos tiempos; en algunos existes tú y yo no; en otros, yo y tú no; en otros, ambos existimos.*»[2]

Yu Tsun le agradece a Albert su perspicacia y a continuación le mata por razones militares, confirmando así el aspecto «plurifurcado» del tiempo. Al igual que los personajes del libro de Ts'ui Pen, se realizan al mismo tiempo dos conceptos contradictorios en el sentido de que Tsun y Albert son a la vez amigos y enemigos.

El relato de Borges nos ofrece una visión de otro modelo del tiempo. Según esta visión, se representa el tiempo con bifurcaciones constantes. Siempre que se elige, el universo se bifurca continuamente en varias subdivisiones. Las ramas pueden separarse o converger en varios empalmes. Esta imagen, que puede denominarse el modelo plurifurcado del tiempo, sirve para solucionar algunos de los problemas asociados a las paradojas inherentes en los viajes a través del tiempo. Citemos, a modo de ejemplo, el caso de una persona que retrocede en el tiempo (hasta una época anterior al nacimiento de su madre) y mata a su abuela materna. Si el tiempo consiste en una sola hebra, surge una paradoja manifiesta: si alguien no tenía madre, ¿cómo pudo llegar a existir? Un modelo plurifurcado del tiempo hace desaparecer esta contradicción. La madre de la viajera temporal existiría en una de las ramas del tiempo y no en otra. Al impedir que nazca su madre, la viajera se traslada de una rama del tiempo a otra. Así no hay paradoja. La idea de que existan universos alternativos paralelos al nuestro ha aparecido en muchos relatos de ciencia ficción. El escritor que más se asocia con las historias sobre los universos paralelos es el difunto autor norteamericano Philip K. Dick. En su novela *Valis*, da a entender que la historia moderna es una versión distorsionada del auténtico desarrollo del mundo. Por la razón que sea, unas «fuerzas malignas» han desviado el mundo hacia una rama inverosímil del tiempo. Su obra *The Man in the High Castle** ofrece una versión alternativa de la Segunda Guerra Mundial. Alemania y el Japón han ganado la guerra y se reparten el mundo. El autor deja claro que su historia representa una escena de una rama paralela de nuestro universo; los personajes pueden incluso viajar «lateralmente en el tiempo» de una rama del universo a otra.

El carácter especulativo de los viajes a través del tiempo podría invitar a pensar que la idea de unos universos alternativos raya en la

ciencia ficción. Estas especulaciones parecen carecer de una base física. No hay forma de demostrar o de refutar la existencia de los universos alternativos dada la imposibilidad de acceder a ellos.

El misterio del gato de Schrödinger

Últimamente, algunos físicos han intentado muy en serio incorporar a la teoría física el modelo plurifurcado del tiempo. Hay que buscar el motivo en una sensación profundamente arraigada en muchos teóricos de que la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica no constituye una explicación del todo satisfactoria del mundo de las partículas. Sabemos que muchos físicos han tenido reparos a la hora de aceptar algunas de las ideas fundamentales de la mecánica cuántica y que uno de estos conceptos molestos es el de las funciones ondulatorias. Vamos a examinar cómo este concepto ha llegado a sustituir a muchas creencias intuitivas y tradicionales sobre el universo.

Según la visión newtoniana clásica de la naturaleza, todas las partículas del universo poseían unas propiedades bien definidas, como posición y velocidad, propiedades dotadas de unos valores inequívocamente medibles. Pueden confirmarse estos valores mediante las observaciones repetidas. En el proceso de hacer una observación, el mundo puede dividirse en dos partes: observador y observado. Queda perfectamente claro dónde termina una parte y dónde empieza la otra. En cualquier experimento científico se da por sentado que la intervención del observador es mínima.

Según el modelo cuántico actual de las interacciones entre partículas no se tienen por fundamentales los factores observables como la posición y la velocidad. Al contrario, la función ondulatoria –ente abstracto que no puede medirse directamente– constituye la base de

todos nuestros conocimientos sobre el comportamiento de las partículas. La función ondulatoria no tiene por qué encontrarse en un estado de posición o velocidad definidas. En general, la localización de una partícula tiene un abanico bastante amplio de posibilidades. Esta incertidumbre se refleja en la función ondulatoria que representa la partícula.

De este modo, la mecánica cuántica comprende ciertos límites que no se encuentran en la mecánica clásica. En ésta, se puede calcular la localización de un electrón en algún punto del espacio. Según aquélla, puede afirmarse tan sólo que la posición de un electrón se extiende por cierta área. En la mecánica clásica, puede estimarse la velocidad de un electrón. En la cuántica, también se considera incierta la velocidad de un electrón.

La única manera de averiguar la posición o la velocidad de una partícula en el contexto cuántico es a través de la medición. La medición cuántica es de una índole radicalmente distinta a la clásica. Según la teoría cuántica de la observación científica, el observador modifica la naturaleza de la función ondulatoria que representa la partícula. Al principio, no puede decirse que la función ondulatoria tenga ningún valor específico de la cantidad que se está observando. Nada más medirse, la función ondulatoria asume un valor específico de la cantidad que se ha medido. Cuando esto ocurre, se dice que la función ondulatoria se colapsa. Después del colapso de la función ondulatoria, se puede afirmar que tienen el valor de la cantidad en cuestión durante sólo un intervalo breve una vez realizada la medición. Si se llega a medir otro parámetro, la función ondulatoria vuelve a colapsarse, asumiendo un valor de esta segunda cantidad.

Ya hemos comentado ese proceso en el contexto del experimento de la doble rendija (Capítulo 4), en que el electrón puede pasar por una cualquiera de las dos rendijas existentes. La función ondulatoria

abarca las dos posibilidades; tiene una incertidumbre. Sólo cuando se realiza una medición específica de la posición del electrón puede decirse que éste ha pasado por una rendija a la otra.

Consideremos qué ocurre con un electrón cuando se calibran a la vez su posición y su velocidad. Antes de medirse esas cantidades, se dice que la función ondulatoria del electrón se encuentra en un estado indeterminado (o extendido) tanto de posición como de velocidad. Supongamos que un mecanismo mide ahora la posición del electrón: éste se colapsa y asume un estado de posición definida. Entonces puede afirmarse con seguridad dónde se encuentra el electrón. Supongamos que un segundo mecanismo registra la velocidad del electrón: el instrumento obligaría a la función ondulatoria del electrón a que asumiera un estado de velocidad definida. La posición del electrón volvería a ser incierta. No podría calibrarse de modo simultáneo ninguna de las dos cantidades, ni posición ni velocidad.

Tomamos nota del fuerte efecto que el observador científico ejerce sobre un experimento. Según la interpretación corriente (la de Copenhague) de la mecánica cuántica, la idea de la posición y la velocidad determinadas está vinculada de una manera curiosa a la medición humana. Sin observaciones, no puede decirse que una partícula tenga valores específicos correspondientes a sus parámetros físicos. Parece que la mecánica cuántica ofrece una respuesta a la siguiente pregunta filosófica tan manida: Si cae un árbol en un bosque donde no se encuentre nadie que lo oiga, ¿puede decirse que produce un sonido? La interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica indica que la respuesta es negativa: no puede afirmarse que se produzca ningún sonido. Sólo cuando se efectúa la medición puede asegurarse que el árbol que cae hace un ruido en un momento determinado.

La naturaleza paradójica de una función ondulatoria que se colapsa se pone de manifiesto cuando la mecánica cuántica se extiende a los cuerpos a escala humana. Es difícil imaginar que dicho colapso y, de ahí, la suposición de unos valores físicos fijos como (la) velocidad y (la) posición, puedan depender en un grado tal alto de la existencia de los seres humanos. Parece ser una interpretación bastante antropocéntrica de la realidad física. Y, sin embargo, así es el evangelio de la mecánica cuántica, habiéndose verificado de modo experimental miles de veces. Vamos a estudiar un caso célebre en que la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica se aplica a una situación a escala macroscópica (la normal) y arroja un resultado asombroso. Este caso, la paradoja del gato de Schrödinger, es un experimento mental propuesto por uno de los pioneros de la teoría cuántica3. En este experimento imaginado, un gato se coloca en una jaula grande. Junto al gato se encuentra un mecanismo que, si se activa, causa la muerte fulminante del animal. Lo que sirve para activar el mecanismo es un detector de partículas que calibra el espín de un electrón. Si el espín de un electrón determinado está inclinado hacia arriba, se activa el mecanismo y muere el gato. En cambio, si el espín se inclina hacia abajo, no se activa el mecanismo y el gato sobrevive. El procedimiento es sencillo y nada ambiguo.

Se tapa el aparato entero y se oculta a la vista. Se introduce un electrón en la máquina. Puesto que no se mide el espín del electrón antes de que se introduzca en la máquina, no puede decirse que tenga un valor concreto. Así, la función ondulatoria del electrón se halla en un estado mixto de inclinación hacia arriba y hacia abajo.

Después de que el electrón haya entrado en el detector, éste registra un valor. Ahora bien: dado que uno no puede saber cuál es el valor y que no se ha realizado ninguna observación humana, no puede decirse que tenga un valor específico. Por tanto, el detector se en-

cuentra en un estado mixto: su función ondulatoria es una mezcla de señales de inclinación hacia arriba y hacia abajo.

Por último, nos dirigimos a la cuestión del propio gato. Puesto que el mecanismo destinado a cumplir la función de matar al gato está enganchado al detector, su función ondulatoria, al igual que la del detector, debe encontrarse también en un estado mixto. De modo que el gato debe estar en una condición híbrida: medio vivo y medio muerto. Dicho de un modo más exacto, su función ondulatoria es una mezcla de un estado cuántico de gato muerto y un estado cuántico de gato vivo.

No obstante, si se quitara la tapa, se vería o bien a un gato muerto o bien a un gato vivo; no se vería un estado mixto. La interpretación de Copenhague de este fenómeno consiste en que la función ondulatoria del gato *se colapsa* para asumir un estado vivo o muerto en precisamente el momento en que se quita la tapa. La medición humana provoca directamente el colapso. ¡La conclusión es que la observación científica hace que un gato que se encuentra en un estado de existencia indeterminada se convierta en un animal vivo o muerto!

No resulta difícil comprender por qué muchos teóricos cuánticos han encontrado inquietante la paradoja del gato de Schrödinger. No es fácil imaginarse cómo la existencia de un observador puede influir de una forma tan decisiva en los valores de las cantidades físicas. Nos gusta creer que el universo esté dotado de una realidad objetiva, realidad que transcienda el reino de la conciencia. Sin embargo, la interpretación de Copenhague nos asegura que la conciencia desempeña un papel influyente en la física debido a que modifica la naturaleza de ciertas propiedades físicas. Como nos demuestra la paradoja del gato, puede incluso transformar a un animal de algo que se

encuentra en un extraño estado mixto de existencia en un ser vivo o muerto. ¡Resulta ciertamente una situación desconcertante!

La interpretación de la mecánica cuántica de la pluralidad de mundos

En 1957, Hugh Everett, estudiante graduado de la Universidad de Princeton, publicó una tesis doctoral que ofrecía una alternativa apasionante a la interpretación de Copenhague. Su idea, que llegó a denominarse la interpretación de la mecánica cuántica de la pluralidad de

mundos, ha generado una fuerte polémica. La mayoría de los teóricos han encontrado que ese enfoque es brillante y compatible con todo lo que se ha podido observar, pero por otra parte, como lo expresa John Wheeler, «lleva una carga demasiado pesada de bagaje metafísico». Dicho de otro modo, parece demasiado estrafalario para ser verdad.

El núcleo de la teoría de Everett consiste en desterrar de la mecánica cuántica el concepto de una función ondulatoria en colapso. En vez de colapsarse, la función ondulatoria se divide constantemente para producir un sinfín de réplicas de sí misma. Cada réplica corresponde a una imagen válida de la realidad en una rama determinada del universo. De ese modo, el universo está bifurcándose continuamente.

El modelo de Everett se distingue de la interpretación de Copenhague por su representación de la medición científica. En la imagen de la pluralidad de mundos, toda media que se realiza de cierta cantidad obliga al observador a que seleccione una de las ramas alternativas del universo. Algunas partes de la función ondulatoria siguen existiendo en otro mundo, pero el observador ya no puede acceder a

ellas. Mediante el proceso de selección, el observador emprende su viaje de forma irreversible por uno de los múltiples caminos del tiempo. Una realidad determinada se elige entre todos los posibles destinos del universo. Además, numerosas copias del observador emprenden su viaje por otros caminos del tiempo. Cada observador sigue inconscientemente de la existencia de los demás.

Los críticos de la teoría han objetado que nadie ha observado que el universo se divida; que ningún observador ha visto nunca el proceso mediante el cual se selecciona la realidad entre varias alternativas. Sin embargo, no puede esgrimirse ese argumento para refutar de modo convincente la teoría. Everett señala lo siguiente en su tesis:

«*La teoría se encarga de una forma muy sencilla de la cuestión de la transición de "lo posible" a "lo actual": ni existe ni es necesaria tal transición para que la teoría se ajuste a nuestra experiencia. Desde el punto de vista de la teoría todos los elementos de una superposición (todas las "ramas") son "actuales", ninguno es más "real" que los otros. Es innecesario suponer que todos menos uno se destrozan de una forma u otra, dado que todos los elementos distintos de una superposición obedecen individualmente a la ecuación ondulatoria con absoluta indiferencia hacia la presencia o ausencia de cualquier otro elemento. El hecho de que una rama no influya para nada en otra implica también que ningún observador será jamás consciente de un proceso de división.*»[4]

Vamos a ver cómo la interpretación de la pluralidad de mundos ofrece una explicación alternativa a la paradoja del gato de Schrödinger. En el modelo de Everett no existe nada que se parezca a un estado mixto; por tanto, en todo momento el gato está o vivo o muerto. En una rama del universo el gato ha resultado muerto; en la otra rama, se le ha indultado. Al realizar una lectura, un observador se encuentra en una rama o en la otra según el resultado del experi-

mento. El tiempo se bifurca, y el observador emprende uno de los caminos.

Se darán cuenta de que existen ahora dos copias del observador humano. La réplica percibe el resultado alternativo del experimento. Para ella, este resultado alternativo es la única realidad. No hay forma de que las dos copias del observador entren en contacto. Cada cual es inconsciente de la división que se ha efectuado.

Una bifurcación parecida del tiempo sirve para explicar los resultados del experimento de la doble rendija. En una rama del universo, un electrón se introduce por la primera rendija; en la otra, se introduce por la segunda. Al realizar una lectura de la posición del electrón, un experimentador se divide en dos realidades alternativas. La «línea de la vida» del observador se bifurca y las dos copias perciben dos versiones diferentes del curso de los acontecimientos. Una de las copias está convencida de que el electrón ha entrado por la primera apertura. La otra está igualmente convencida de que ha entrado por la segunda. Cada cual está en lo cierto respecto a la crónica de los sucesos de su rama concreta del universo.

Mirando hacia atrás a la trayectoria histórica del universo, lo que vemos según esta teoría es el resultado final de un sinfín de elecciones hechas entre centenares de posibilidades. Podríamos preguntarnos por qué, dado el gran número de elecciones, se ha escogido un camino concreto. ¿Por qué ha evolucionado el universo a través de una sucesión determinada de acontecimientos y no otra distinta?

Para responder a esa pregunta, podría postularse el principio antrópico como mecanismo de selección. Dados los múltiples caminos posibles que podría haber seguido nuestro universo, éste ha elegido el que conduce a la aparición de la vida inteligente. Otras muchas réplicas del universo no han generado las condiciones necesarias para la evolución de los observadores conscientes. Dichos universos

simplemente no son «conscientes» de sí mismos. Así, un proceso de selección darviniano va eligiendo versiones del universo en las que pueda evolucionar la vida consciente.

La teoría de la pluralidad de mundos no ha sido bien recibida por la corriente principal de la comunidad científica. A pesar de los problemas filosóficos planteados por la interpretación de Copenhague, la mayoría de los teóricos encuentran más formidables todavía las dificultades que implica la interpretación de la pluralidad de mundos. El físico teórico Bryce De Witt, que ha figurado entre los partidarios más destacados del enfoque de Everett, ha expresado su evaluación de los aspectos problemáticos de esa interpretación:

«*Todavía recuerdo vivamente la conmoción que sentí al encontrarme por primera vez con este concepto de la pluralidad de mundos. No es fácil conciliar en el sentido común la idea de que 1.01.000+ copias ligeramente imperfectas de uno mismo se dividan constantemente en más copias, que acaban siendo irreconocibles.*»[5]

Puesto que es imposible demostrar o refutar la existencia del tiempo bifurcado, el concepto de la pluralidad de mundos queda relegado al reino de las curiosidades interesantes. En realidad, depende del gusto de cada uno si acepta o no los conceptos comprendidos por la teoría. La mayoría de los físicos han optado por seguir la interpretación de Copenhague a pesar del carácter desconcertante del colapso de la función ondulatoria. Sólo unos pocos han seguido abrazando la interpretación de la pluralidad de mundos.

La idea del tiempo como un «jardín de las sendas que se bifurcan» es sin duda apasionante. ¿Será verdad, como ha escrito Borges, que «el tiempo se bifurca perpetuamente hacia futuros innumerables»? ¿El mundo atraviesa un proceso de bifurcación continua?

Es interesante considerar la posibilidad de que existan unas versiones alternativas de la realidad en otras ramas del universo. Des-

afortunadamente, ya que no podemos acceder a ellos, estas imágenes alternativas permanecen como fantasmas de lo que puede haber sido. Al igual que los que vagan por un laberinto, no podemos afirmar con seguridad lo que acecha en los infinitos pasillos inaccesibles que flanquean nuestros caminos. Como ocurre con muchas preguntas sobre la naturaleza del tiempo, no podemos hacer más que especular.

Referencias

1. Jorge Luis Borges: «The Garden of Forking Paths», en *Labyrinths,* New Directions Publishers, Nueva York, 1962.

2. Ibid.

3. John Gribben: In Search of *Schrödinger's Cat,* Bantam, Nueva York, 1984.

4. H. Everett III: *Rev. Mod. Phys.* 38: 453 (1957).

5. Bryce De Witt: «Quantum Mechanics and Physical Reality», *Physics Today,* septiembre 1970, Vol. 23, pag. 4.

7

Grietas temporales

Átomos temporales

En este capítulo enfocaremos el tema de la divisibilidad del tiempo. Es interesante explorar la cuestión sobre si el tiempo puede o no subdividirse indefinidamente. ¿Es liso y regular el tiempo? ¿O tiene un componente mínimo? En el primer caso, el tiempo se parecería a una sustancia continua, con un flujo ininterrumpido; en el segundo caso, estaría compuesto por partículas de más o menos la misma manera en que un arroyo se compone de unas gotas minúsculas que se mueven velozmente.

Cuando contemplamos una cascada de agua que se precipita por una roca, lo que vemos es un chorro copioso y continuo que desciende por el muro de piedra. Si tiene una cantidad suficiente de agua, el movimiento constante aparece ante nuestros ojos bajo la forma de una muralla blanca y sólida de fluido que envuelve el cauce del arroyo. No advertimos ninguna interrupción en la rociada, ni partículas individuales que constituyan el chorro entero.

En cambio, si miramos el agua que gotea de un grifo vemos una imagen totalmente distinta: podemos distinguir claramente unas go-

tas individuales de agua, partículas que componen el flujo, cada una de las cuales sigue su propio camino según caen del grifo a la pila. Entre gota y gota hay un hueco, tanto en el espacio como en el tiempo, que crea un ritmo regular y continuo.

Es evidente que no existe ningún conflicto entre la imagen de una cascada y la de un grifo que gotea. La única diferencia entre ellas consiste en que en aquélla, debido a la rapidez del movimiento, no conseguimos apreciar que el chorro de agua pueda subdividirse en sus partículas constituyentes, mientras que en el segundo caso el movimiento es lo suficientemente lento para que detectemos las gotas. No hay una diferencia física entre los dos flujos; la única diferencia reside en nuestra forma de percibirlos.

Ahora bien: si esperáramos al anochecer y luego proyectáramos un foco sobre el agua de la cascada, se haría patente la imagen auténtica. En este caso, la luz potente iluminaría una serie de gotas individuales conforme fueran cayendo al arroyo. El foco rompería la continuidad de nuestra imagen visual; revelaría la verdadera naturaleza discreta del fluido, mostrándonos así que la cortina blanca de agua no era más que una ilusión. Nuestra mente no puede distinguir las partículas cuando se mueven rápidamente, sino que va rellenando los huecos para crear una continuidad ilusoria.

De forma tradicional, el tiempo se ha considerado una cantidad continua y se ha descrito a menudo como flujo regular e ininterrumpido que se parece a una corriente veloz de agua. Sin embargo, ¿sería posible que, al igual que la cascada, la corriente del tiempo pudiera desmenuzarse en gotas individuales? Cabe objetar, no obstante, que nuestra percepción del tiempo no parece contener huecos. No parece haber interrupciones en nuestros estados de conciencia cuando estamos despiertos porque nuestras corrientes de pensamiento consciente avanzan de una forma continua. ¿Cómo podemos imagi-

nar que se originen escisiones en nuestro propio ser? Si es verdad que las partículas temporales existen, ¿cómo es posible que percibamos la continuidad temporal?

Se nos podría ocurrir una analogía con las películas cinematográficas. Cuando vamos al cine, observamos una imagen visual y sonora continua y, sin embargo, las imágenes están compuestas por una sucesión de tomas estáticas. Una bobina de película cinematográfica no es más que una serie de fotografías corrientes cuyo objetivo consiste en imitar el movimiento continuo. Cuando la película se proyecta a un ritmo normal, nuestra mente es capaz de rellenar los huecos que existen entre estas fotografías estáticas; si se reduce la velocidad de proyección del aparato, nos damos cuenta en seguida de los huecos. Ello explica por qué los movimientos de los actores de las antiguas películas mudas resultan espasmódicos e irregulares; pasan a menudo las películas a una velocidad incorrecta.

En definitiva, nuestra mente está dotada de una capacidad impresionante para «rellenar los huecos» entre las imágenes estáticas. Por tanto, ¿existe la posibilidad de que lo hagamos de una forma constante y que el propio tiempo sea discreto? ¿Podría ser que la continuidad temporal fuese un producto de la imaginación? De ser así, aunque el tiempo psicológico sería continuo, el tiempo físico real estaría compuesto por unas unidades discretas.

En general, la física trata el tiempo como una variable continua. Al igual que la posición o la velocidad, el tiempo se considera una cantidad que puede asumir cualquier valor dentro de una gama regular determinada. Ello sigue siendo cierto cualquiera que sea nuestra visión del tiempo: circular o lineal, estático o relativista.

Durante los últimos tres cuartos de siglo, y a partir de la aparición de la mecánica cuántica, la idea de que una cantidad física pueda ser discreta ha ido aceptándose cada vez más. Ahora es corriente

concebir la posición, la velocidad, carga eléctrica, momento y energía como «cuantizados» {*N. del T.: Las comillas son mías.*} (o discretos). De modo parecido, se sabe que toda materia está compuesta por átomos y que éstos, a su vez, están compuestos por partículas subatómicas. Así, todas las substancias se componen de unas combinaciones de componentes pequeños como protones, neutrones, electrones y neutrinos. Los protones y neutrones se creen compuestos por unas unidades aún más pequeñas denominadas «quarks». Por último, los quarks, los electrones, los fotones y los neutrinos se consideran básicos e indivisibles.

Así, por ejemplo, las cargas eléctricas pueden encontrarse en un estado natural sólo bajo la forma de múltiplos de la unidad básica más pequeña. Cada relámpago, cada chispa que emite una batería y cada corriente eléctrica proveniente de un enchufe en la pared contiene una cantidad de electricidad que equivale a un producto de la unidad más pequeña de carga –es decir, la de un electrón. Por ello, se dice que la carga eléctrica está cuantizada.

A la vista de lo anterior, podríamos preguntarnos si el tiempo también esta compuesto por partículas pequeñas. La extensión lógica de la materia cuantizada sería, al parecer, el tiempo cuantizado; de ahí podría postularse la existencia de unos «átomos de tiempo» como las unidades más pequeñas del tiempo.

A pesar de la aparente novedad del concepto, la idea del atomismo temporal tiene una larga historia. Una secta budista llamada los «seutrankitas», que hizo su aparición aproximadamente en el tercer siglo antes de Cristo, sostuvo que el universo vuelve a crearse a cada instante. Para ellos, la continuidad del tiempo era una pura ilusión. Diversos filósofos griegos de la época helena también suscribieron esa opinión, defendiendo con vehemencia el atomismo del tiempo.

Las paradojas de Zenón

El concepto del tiempo discreto no sedujo a todos los primeros filósofos griegos. La refutación escrita más antigua de esa idea es la del filósofo polémico Zenón de Elea[1]. Zenón, quien vivió en el sur de Italia en torno al siglo v antes de Cristo, creó cuatro paradojas sobre el tiempo y el movimiento. El hecho de que todavía se discutan hoy demuestra hasta qué punto son ingeniosas las paradojas.

Dos de esas paradojas se compusieron para demostrar la imposibilidad de los átomos del tiempo. Se denominan habitualmente la paradoja del estadio y la de la flecha. En ellas, Zenón nos pide imaginar que el tiempo sea discreto y, a continuación, intenta demostrarnos que dicha suposición desemboca en una contradicción.

La paradoja del estadio puede expresarse de la manera siguiente: imagínese un gran estadio deportivo lleno de corredores colocados en una pista. La pista está marcada a distancias regulares de, por ejemplo, un metro entre las señales sucesivas. Así, la primera raya marcada en la pista sería 1 metro; la segunda, 2 metros, y así sucesivamente. La superficie del estadio se parecería algo a un campo norteamericano de fútbol.

Imagínese ahora que dos equipos de corredores estén en el campo, con un corredor de cada equipo colocados sobre cada señal de 1 metro. Vamos a llamar a los equipos atenienses (equipo A) y brindisianos (equipo B). Al inicio, el primer corredor ateniense y brindisiano estarían colocados sobre la señal de 1 metro; el segundo corredor de cada equipo; sobre la señal de 2 metros; y así sucesivamente. De esta forma, los miembros de cada equipo se colocarían sobre el mojón correspondiente a su propio número.

Supongamos ahora que el tiempo para los atenienses y los brindisianos es discreto. En otras palabras, existe un intervalo mínimo de

tiempo tal que ningún movimiento, ningún pensamiento y ninguna acción podrían ocurrir en un tiempo inferior a ese intervalo. Digamos, por ejemplo, que ese intervalo, el átomo de tiempo, es exactamente un segundo. Entonces, nada podría ocurrir en menos de un segundo para los integrantes de los equipos A y B.

Supongamos ahora que los corredores de Atenas van desplazándose hacia la izquierda por la pista a una velocidad de un punto por instante (1 m/segundo). Así, transcurrido un segundo, el corredor ateniense número 2 está colocado sobre la señal de 1 m del estadio, el corredor número 3 sobre la señal de 2 m, el corredor número 4 sobre la señal de 3 m, y así sucesivamente. En este contexto empleamos la palabra «instante» para representar lo que hemos dado en llamar el átomo de tiempo, el cual es 1 segundo en este caso. Ello corresponde a la suposición de que el tiempo sea discreto.

Imaginemos también que los corredores de Brindisi están desplazándose hacia la derecha a una velocidad de un punto por instante. Por tanto, después de 1 segundo, el corredor brindisiano número 1 está colocado sobre la señal 2, el corredor número 2 sobre la señal 3, y así sucesivamente. Nos consta también que el primer corredor de Brindisi comparte la misma señal que el tercer ateniense; el segundo corredor de Brindisi, la misma que el cuarto ateniense; etcétera.

Las tablas siguientes representan las posiciones respectivas de los tres primeros corredores de cada equipo (con las etiquetas A de ateniense y B de brindisiano), relativas a las señales del estado, de antes y después del primer instante etiquetadas S:

Tabla 1

	Antes			*Después*				
A	1	2	3	1	2	3		
S	1	2	3		1	2	3	
B	1	2	3			1	2	3

Puesto que suponemos que el instante de tiempo (un segundo) es indivisible, no podemos hablar de un tiempo que exista *entre* los dos sucesos. Sin embargo, consideremos el momento siguiente que esta configuración debe atravesar, a medio camino entre las imágenes de

antes y después:

Tabla 2

	Momento intermedio						
A	1		2		3		
S		1		2		3	
B			1		2		3

Fijémonos en que, durante este momento intermedio (1/2 segundo), los corredores A2 y B1 están alineados. Este es un suceso que consta claramente, al que podemos asignar indiscutiblemente una etiqueta temporal. Por consiguiente, este tiempo puede describirse como la subdivisión de un instante, lo cual contradice la teoría de que los instantes son indivisibles. De ahí la paradoja.

Dicho de otro modo, según la premisa de la paradoja del estadio de Zenón, ningún suceso puede ocurrir en menos de un instante (segundo). No obstante, según su conclusión, podemos imaginar que un suceso (como en la Tabla 2) tenga lugar en menos de un instante

($y/2$ segundo). Así, la conclusión contradice la premisa que proclama la existencia de una unidad mínima de tiempo. Luego, según este argumento, el tiempo discreto es imposible.

La paradoja de la flecha de Zenón es aún más sutil. Se trata de la realidad del movimiento y puede exponerse de la siguiente manera: Considérese que el tiempo sea discreto, de modo que existe un intervalo mínimo de tiempo para el movimiento. Ningún movimiento puede realizarse en un tiempo menor que un instante. Imagínese ahora una flecha, que llamaremos la flecha A, que atraviesa el aire. A cada instante, podemos fotografiar la flecha y demostrar así que no se mueve. Su movimiento debe ocurrir *entre* y no *durante* los instantes, dado que un instante es el intervalo más pequeño del tiempo para que ocurra un suceso.

Imagínese ahora otra flecha, que llamaremos la flecha B, y que no se mueve en absoluto. Compárese una imagen de la flecha B durante cualquier instante determinado con una de la flecha A, durante el mismo instante. Según las imágenes, ambas flechas parecen completamente inmóviles. No hay forma de distinguir la flecha A de la flecha B. Sin embargo, cuando el siguiente «tic» del reloj señale la llegada del próximo instante, la flecha A se habrá movido, mientras la flecha B habrá permanecido inmóvil. De ahí una paradoja: durante un instante, no existe ninguna diferencia entre las imágenes de las dos flechas y, sin embargo, una de éstas actúa de una manera completamente distinta a la otra.

Resulta mucho más fácil hacer frente al enigma de la flecha que a la cuestión del estadio. La solución de aquella paradoja, como ha señalado el filósofo Adolf Gruenbaum, reside en el hecho de que la movilidad puede surgir a partir de una serie de inmovilidades. El movimiento puede definirse como una serie de acontecimientos sucesivos en los que se modifica la localización de un cuerpo. Así, el

movimiento puede resultar de un conjunto de instantes en que un objeto se encuentra en reposo[2].

Este fenómeno es comparable a una obra de arte. Supongamos que dividiéramos la *Mona Lisa* en sus constituyentes más pequeños. Ninguno de esos componentes se reconocería por separado como parte de la obra maestra de Da Vinci, pero si todos se juntan se reconoce de forma instantánea el retrato. De modo análogo aunque la flecha esté en reposo durante cada instante, todavía puede ofrecer un movimiento global al juntarse todas las piezas. Así, la paradoja de la flecha de Zenón no representa una verdadera contradicción.

A pesar de las preguntas planteadas por las paradojas de Zenón, el interés filosófico y científico por los átomos de tiempo persistió. Durante la Edad Media, el célebre erudito judío del siglo XII, Maimónides, habló del atomismo temporal en su influyente libro titulado *Guide for the Perplexed*. En esta obra explicó que «el tiempo está compuesto por átomos, es decir, por muchas partes que, debido a su breve duración, no pueden dividirse». Maimónides calculó, que estos átomos de tiempo tendrían una duración extremadamente corta:

«*Una hora está dividida en sesenta minutos, el minuto en sesenta segundos, el segundo en sesenta partes y así sucesivamente; por fin, después de diez o más divisiones sucesivas por sesenta, se obtienen unos elementos de tiempo que no son susceptibles de división y, efectivamente, son indivisibles*.»

Para enlazar los momentos individuales Maimónides recurrió a la providencia divina. Él creía que Dios vuelve a crear de forma continua el universo. Si Dios desapareciera, el universo se quedaría congelado en un estado estático y no sería posible ningún movimiento. Sólo el Espíritu Santo es capaz de llenar estos huecos del tiempo.

En diversos sistemas de creencias religiosas y místicas, el atomismo temporal desempeño un papel importante para explicar cómo un

espíritu o una fuerza exterior eran necesarios para que el mundo continuase. Si el mundo debe volver a crearse a cada momento, se necesita la providencia divina para realizar la tarea. En vez de una sola creación, tiene lugar un número infinito de creaciones, lo cual requiere que Dios juegue un papel activo en el mundo.

Al escritor Borges le intrigaba el concepto. En su cuento corto titulado «*Tlön, Uqbar, Orbis Tertius*» Borges retrata una sociedad que cree en el tiempo discreto. Según la filosofía de esa civilización ficticia, el mundo se destruye y vuelve a crearse a cada instante. Así, si se colocara un objeto en algún lugar en un momento determinado y si se lo mirase un instante más tarde, los habitantes de esa sociedad ficticia lo considerarían otro objeto totalmente distinto. Por ejemplo, si a un mercader se le cayese un penique al suelo y luego un niño pequeño lo encontrase, el penique del niño se consideraría un objeto completamente distinto al penique del mercader. La implicación, pues, es que el único vínculo que existe entre un momento y el siguiente provendría de alguna fuerza divina exterior. El hecho de que un objeto estuviera dotado de la duración temporal parecería un milagro, más o menos como si una nube desapareciera de repente en una parte del cielo para volver a aparecer en otra parte.

¡Imagínese cómo sería la vida en un mundo semejante, donde cada «átomo de tiempo» constituyera una realidad separada! La vida de una persona carecería de continuidad y, por tanto, de sentido. ¿Podría decirse que una persona que viviera esa clase de vida tendría «alma»?

Esta es precisamente la pregunta que se hace Oliver Sacks en *The Man Who Mistook His Wife for a Hat.* Los pacientes de Sacks que sufrían del síndrome de Korsakov, como Jimmy y el señor Thompson, ya no pueden recordar el pasado y viven con sólo su conocimiento del presente inmediato. De modo que, al igual que los moradores de

Tlön, los pacientes de Sacks habitan en cierto sentido un mundo donde el tiempo está desmenuzado. En su libro, Sacks se pregunta si podría decirse que sus pacientes poseían una psique humana a la vista de que su vida interior resulta tan desligada de la continuidad temporal.

Parece que nuestra humanidad, nuestra conciencia y nuestra alma dependen del hecho de que el tiempo es continuo y la Historia existe. De no ser por estos puentes que enlazan las partículas del tiempo, nuestra vida se quedaría totalmente destrozada. Por fortuna, nuestra mente está dotada de la capacidad de crear esos eslabones.

En cierto sentido, nuestro mundo mental se destruye y vuelve a crearse a cada momento. Nuestra percepción sensorial y nuestro procesamiento mental de datos se realizan a intervalos discretos. Nuestra mente va ensamblando esos datos dispares hasta que constituyen una imagen completa. Cuando ese mecanismo nos falla, los efectos se acusan en seguida.

Existen algunas pruebas que indican que el procesamiento neural ocurre de una forma discreta, en unidades de 1/10 segundo. Si se recibe la información sensorial a una velocidad mayor, el cerebro simplemente no puede absorberla. Por ejemplo, se sabe que ciertas drogas psicodélicas retardan el ritmo del procesamiento visual, provocando así que el consumidor perciba unas imágenes discretas e inconexas. Bajo la influencia de esas substancias, los objetos parecen estar fijos en el campo visual y asumen la forma de rayas. Afortunadamente, en circunstancias normales nuestra mente junta las imágenes visuales discretas para que formen una sola corriente continua.

El tiempo discreto en la física

A diferencia del atomismo temporal en los procesos mentales, no hay casi ninguna prueba científica de que existan los átomos físicos del tiempo. En cambio, sí hay modelos especulativos de las interacciones entre partículas que indican que el tiempo tiene una unidad mínima. Las llamadas teóricas «gauge» sobre los retículos utilizan el tiempo discreto como instrumento para hacer cálculos. En dichos modelos, se parte de la base de que las interacciones entre partículas tienen lugar a intervalos fijos. Ningún suceso en el mundo de las partículas puede ocurrir durante un tiempo inferior al intervalo mínimo. Se proponen estos modelos, no como medios de representar el universo físico real sino como atajos para resolver los problemas rebeldes de la física que no se pueden tratar con esquemas continuos del tiempo.

Otro ejemplo del interés que viene mostrándose por los átomos de tiempo es el del físico ganador del premio Nobel T. D. Lee, quien ha elaborado últimamente una versión de la mecánica cuántica en la cual el tiempo es discreto. En su ponencia titulada «¿Puede ser el tiempo una variable dinámica discreta?» Lee discute la forma en que puede modificarse la mecánica cuántica con ese fin. Llega a la conclusión de que ese concepto es factible y hasta puede ser necesario[3].

Los modelos del cosmos en tanto que autómata celular, como la visión de Fredkin del universo computador, también se basan en la suposición de que la dinámica del mundo es discontinua. En el Capítulo 3 esbozamos algunas de estas teorías. Al contrario que en la mecánica newtoniana, las interacciones de los modelos se realizan mediante unos pasos temporales finitos. Entre cada dos pasos, los autómatas, como la flecha de la paradoja de Zenón, se encuentran claramente en reposo. Por ello, los modelos nos ofrecen unas imágenes de la atomicidad temporal.

Una analogía sencilla servirá para ilustrar la diferencia entre los modelos continuos y discretos del tiempo en la física. Imaginemos que dos abogados que viven en dos extremos opuestos de una ciudad deciden quedar a una hora determinada para charlar. Puesto que Doris, la primera abogado, vive en el lado oeste, Cloris, la segunda abogado, debe desplazarse desde el lado este para buscar a Doris. Supongamos que Cloris decide llevar el coche. Se tarda 15 minutos en coche para llegar a Doris; luego, si Cloris sale entre las 2 y las 3, debería llegar a Doris entre las 2,15 y las 3,15. En este caso, la «interacción» entre Doris y Cloris podría producirse en cualquier momento durante ese período de una hora. De modo que el tiempo de interacción constituiría una cantidad *continua* porque podría tener cualquier valor dentro de una gama continua.

Supongamos, en cambio, que Cloris decide coger el autobús. Los autobuses circulan desde el lado este hasta el oeste cada 15 minutos y tardan 15 minutos en efectuar su itinerario. Si Cloris decidiera salir del lado este entre 2 y las 3, tendría que coger el autobús a las 2, las 2,15, las 2,30, las 2,45 o las 3, y llegaría por tanto al lado oeste para ver a Doris a las 2,15 las 2,30, las 2,45, las 3 o las 3,15. No le sería posible quedar con Doris en ningún momento entre esas horas, dado que ningún autobús podría llevarla hasta allí a una hora intermedia. Así, en este caso, el tiempo de interacción entre Doris y Cloris sería una cantidad *discreta* porque podría tener un sólo valor entre una gama finita.

Ahora llegamos a comprender la forma en que el tiempo continuo del viaje en coche difiere en términos cualitativos del tiempo discreto del itinerario del autobús. Por analogía, podemos ver la diferencia que existe entre los modelos continuos y discretos de las interacciones físicas. La física discreta exige que la comunicación entre

las partículas ocurra sólo a unos intervalos fijos, mientras la física continua no está sometida a semejante restricción.

Hace unas décadas los físicos especularon sobre la existencia de una unidad cuantizada de tiempo denominada el cronón. El valor de este intervalo equivaldría al tiempo necesario para que una partícula de luz, un fotón, que se considera la partícula más veloz, pasara por un electrón, que se consideraba en esa época la partícula más pequeña de diámetro no cero. Dado que la velocidad de la luz en el vacío es de 108 m/segundo y el diámetro efectivo de un electrón es de aproximadamente 10-15 m/segundo, dicha unidad temporal sería del orden de 10-23segundo. No podría ocurrir ninguna interacción en un tiempo inferior. El cronón constituiría la unidad básica de toda medición temporal.

Con el aumento de nuestros conocimientos sobre la física de partículas durante los últimos años, se han propuesto unas unidades naturales de tiempo mucho más pequeñas aún que el minúsculo cronón. Una unidad de duración temporal que se ha utilizado cada vez más en la cosmología se llama el tiempo de Planck. Este intervalo, que tiene una magnitud de aproximadamente 10-43 segundo, es la cantidad de tiempo necesaria para que la luz recorra una distancia denominada longitud de Planck. La importancia de este valor reside en que constituye la distancia más corta para la cual es válida la teoría de la relatividad general de Einstein en tanto que teoría clásica de la gravedad. La dinámica que tenga lugar durante intervalos más breves aún debe someterse a una teoría cuántica de la gravedad que sigue siendo un concepto sumamente hipotético.

Dejando a un lado estas ideas tan especulativas, la mayoría de los físicos creen que el tiempo es una cantidad continua. Nadie ha conseguido demostrar de una forma definitiva la existencia de átomos

temporales. A falta de pruebas que indiquen lo contrario, debe suponerse que el tiempo es infinitamente divisible.

Referencias

1. G. J. Whitrow. *The Natural Philosophy of Time,* Harper and Row, Nueva
York, 1963.

2. Adolf Gruenbaum: Modern Science and Zeno's Paradoxes, Wesleyan University Press, Middletoum, Conn., 1967.

3. T. D. Lee,: «Can Time be a Discrete Variable?» *Phys. Lett.* 122**:** 217
(1983).

8

El final de la vía

Ya hemos terminado nuestro viaje a través de las múltiples formas y diferentes facetas del tiempo. Hemos visto cómo los filósofos, historiadores, teólogos, psicólogos y físicos han ido imprimiendo al tiempo sus diversos sellos. A pesar de que los estudiosos en esos campos tan distintos tienen unas bases, prioridades y objetivos diferentes, sus respectivas visiones del tiempo poseen muchos factores en común. Los puntos de vista se dividen naturalmente en varias categorías, como indica nuestro estudio.

Hemos examinado el contraste entre el tiempo lineal y circular. Dentro del área extensa del tiempo lineal existen dos puntos de vista contrarios: la filosofía pesimista y la optimista. Nuestra charla ha versado también sobre los conceptos de la causalidad y la sincronía, centrándose en la cuestión de si es inevitable o no un retraso temporal en el intercambio de información. Hemos observado cómo el flujo del tiempo puede verse afectado por varios factores, y hemos comentado detalladamente las posibilidades de los viajes a través del tiempo. Se ha pasado revista al concepto del tiempo bifurcado. Por último, hemos expuesto la forma en que el tiempo continuo puede distinguirse del tiempo atomístico o discreto.

En todos esos casos, hemos explorado no sólo los orígenes de los conceptos sino también la manera en que los enfocan los eruditos contemporáneos. Puesto que el tiempo es un concepto sumamente complejo y esquivo, los debates antiguos sobre su significado y su «forma» siguen librándose, si bien se emplean actualmente los instrumentos modernos de la investigación científica. Es muy posible que no lleguemos nunca a comprender del todo el tiempo. Sólo el tiempo lo dirá, y nunca mejor dicho.

¿Por qué algunos pensadores se decantan a favor de unos modelos determinados del tiempo y rechazan otro? Es ésta una pregunta bastante amplia, cuya respuesta depende claramente de la disciplina en cuestión. Un físico podría rechazar un modelo temporal específico debido a ciertas consideraciones teóricas. Otro científico podría señalar las pruebas experimentales que favorecen una imagen concreta del tiempo. Por último, un teólogo podría explicar cómo cierta visión del mundo está de acuerdo o no con las enseñanzas de la Biblia. Todos y cada uno podrían llegar a las mismas conclusiones aunque sea a través de unos procesos de raciocinio radicalmente distintos.

Por otra parte, los seres humanos comparten ciertas características vitales; todos nacen, envejecen y mueren. Estas experiencias comunes se ven obligadas de una forma inevitable en nuestra actitud ante el tiempo. Porque en cierto sentido nuestra visión del tiempo está relacionada con nuestra actitud ante el carácter definitivo de la muerte. Esto no quiere decir que los temores y deseos humanos desvirtúen la experimentación científica, pero a la hora de sacar conclusiones de cierto conjunto de pruebas se incluye forzosamente un alto grado de interpretación. Este es el momento en que los juicios estéticos y psicológicos entran a menudo en escena. La actitud ante la vida y la muerte es susceptible de incorporarse de una forma consciente o

subconsciente a la elección que se realice entre varias perspectivas alternativas sobre una cuestión filosófica o científica concreta.

Examinemos ahora la manera en que nuestra reacción ante la mortalidad humana puede influir en nuestra visión de la estructura del tiempo. La existencia de la muerte representa la influencia más profunda que el tiempo ejerce sobre un ser humano. El filósofo Heidegger ha afirmado que percibimos el tiempo sólo porque tenemos que morir. Como es natural, nuestra imagen del tiempo va en función de nuestra actitud ante los estragos que causa.

Los modelos estáticos del tiempo resultan más atractivos para los que se sienten desalentados ante la idea de lo finito de la existencia humana. La descripción del estado estacionario y el retrato newtoniano del universo admiten la posibilidad de que la raza humana exista para siempre, y la inmortalidad de la especie es un ligero consuelo para los que encuentran molesta la idea de la muerte. Los defensores de la teoría del estado estacionario del universo no pueden imaginar que éste tenga principio ni fin. Para ellos, todo seguirá tal como ha sido siempre.

Los modelos cosmológicos oscilantes ofrecen la perspectiva tranquilizadora de que no se pierde nada al final. Todo volverá a su estado original una y otra vez, *ad infinitum.* Según nos asegura Nietzsche, la inmortalidad se garantiza bajo la forma del eterno retorno. Desde los tiempos más primitivos, se ha recurrido a los rituales y a las conductas reiterativas para evitar la muerte y establecer la longevidad cultural. El concepto hindú de la reencarnación permite que el alma vuelva bajo diversas formas. En todos estos casos, cabe esperar que la, renovación y la recuperación sigan a las épocas de destrucción y desesperación. En este contexto la naturaleza perenne de la agricultura y el movimiento celeste sirve de guía para que se restauren la juventud y el vigor a través de la eterna repetición.

El modelo del tiempo lineal de la vía descendente atrae a una clase distinta de pensador. La desintegración se considera un proceso necesario, y se estiman ineludibles e irreversibles la muerte y la destrucción. La ley de la entropía incorpora la desintegración a la estructura de la teoría física. La adaptación teológica del Harmagedón en tanto que meta definitiva de la historia humana sirve a un fin parecido. En ambos casos se cree que la Humanidad no puede mantenerse de modo indefinido a sí misma y a la sociedad. Sólo cabe esperar que ocurra un milagro. Prescindiendo de esto, los partidarios de la vía descendente proponen que nos resignemos ante nuestro destino y que aprovechemos al máximo el momento actual.

Los filósofos adeptos a la vía ascendente del tiempo lineal constituyen un grupo mucho más optimista. Ven en el progreso el sello de la maduración social y política. A pesar de que la biología humana ha evolucionado a partir de formas inferiores, la sociedad humana sigue desarrollándose para mejor. Los físicos que suscriben el modelo de la vía ascendente hablan de la complejidad que surge del caos y del orden que resulta del comportamiento aleatorio. Es de esperar que la Humanidad supere a la muerte y a la desesperanza explotando los avances tecnológicos, expandiéndose hacia otras partes del universo, abrazando la unidad social o buscando otros medios de crecimiento. El sueño común es el de la utopía.

Otra manera de hacer frente a la devastación que provoca el tiempo consiste en buscar una forma de evasión. Esta evasión puede encontrarse en el consumo de drogas, la atemporalidad del sueño, o una retirada hacia los recovecos más profundos de la mente. También se podría tener en cuenta la posibilidad de los viajes a través del tiempo, o la de retrasar o acelerar su flujo. Todas estas avenidas nos ofrecen la hermosa perspectiva de apartarnos de la corriente del tiempo.

Por último, consideramos la teoría de la pluralidad de universo, según la cual el tiempo está bifurcándose continuamente. Incluso esta teoría tan abstracta ofrece garantías de la continuidad de la vida humana. En realidad, es una imagen del cosmos que nos asegura la inmortalidad a todos. Dado que el universo se bifurca continuamente según este modelo, si alguien muere en una rama determinada del universo, puede vivir en otras. Existe un número infinito de líneas temporales por las cuales se puede aplazar indefinidamente la muerte.

Para los que creemos en el poder del tiempo pero no lo comprendemos del todo, ninguno de los citados modelos puede resultar plenamente satisfactorio. La naturaleza completa del tiempo parece encontrarse más allá de nuestro alcance, con muchas piezas del rompecabezas aún por descubrir. Como dijo Borges en una de sus últimas entrevistas, «El tiempo es el único misterio fundamental».

El tiempo es el camino que nos conduce hasta nuestras metas. Es la substancia que compone nuestra vida y, sin embargo, no puede dejar de traicionarnos al final cuando nos lleva al último precipicio. Las manos que nos moldean son las manos que nos empujan por el borde. Hermann Hesse ha descrito la forma extraña en que el tiempo nos crea y nos destroza a la vez, como se muestra en su poema *Lamentación* que aparece en la página siguiente.

Referencias

1. Herman Hesse: *Magister Ludi: The Glass Bead Game,* Bantam Books, Nueva York, 1969.

Poesías de juventud

Lamentación

Nos es negado ser. O tan sólo somos corriente; dóciles fluimos en
todas las formas: a través del día y de la noche, a la cúpula y al antro,
nos empuja siempre la sed de ser. Así vamos llenando forma tras
forma sin descansar jamás:
ninguna se torna patria nuestra, por suerte o por desgracia.
Siempre venimos de camino, eternos viadores;
no nos llaman ni el campo ni el arado: no cosechamos pan.
¿Qué quiere de nosotros el Señor? Lo ignoramos. El juega con
nosotros y somos como arcilla entre sus manos, callada y maleable,
que no ríe ni llora. Y Dios la amasa, sí, pero nunca la quema.
¡Quedar petrificado algún día! ¡Perdurar! He ahí nuestras ansias,
eternamente inquietas; mas tras ellas no queda más que un temblor
pequeño que nunca llega a hacerse reposo en el camino.

* Poema de Hermann Hesse tomado del libro *El juego de los abalorios* de Alianza Editorial, Madrid, 1989.